目　　次

我国的加速器和原子反应堆

金 星 南

我国为了发展原子能工业，在解放之后，在党和政府的領导下，开始建設原子能工业所需要的靜电加速器。在1955年初，在苏联的无私帮助下，开始建立一架能把α粒子的能量增加到2,500万电子伏特的回旋加速器，和一座功率为7,000－10,000瓩的实驗性重水原子反应堆。

在我国社会主义建設事业全面大跃进的时期中，这个回旋加速器和原子反应堆已經建成。这两項設备的建成，在我国的原子能工业上打下了初步的基础。

这里，我們将简要地叙述靜电加速器、回旋加速器和原子反应堆的結构，以及它們在原子能工业中的作用。

一、原子核和原子能

科学在今天已經发展到这样的地步，那就是构成我們一切物質的最微小的粒子——原子——的結构，已能用灵敏的实驗仪器观察出来。原子不是簡单的粒子，它的內部結构是相当复杂的。它是由很多带电粒子組成的。它的中心是一个带正电的原子核，四周是带負电的电子在运动着。

人們的智慧的发展是无穷尽的。現在人們已經能观察比原子小上百万倍的原子核的內部构造和性質了。原子核是由两种不同的粒子紧密地結合在一起的，一种是带正电的質子，另一种是不带电的中子。

现在人們所发现的原子核有一千多种，其中具有同样数目的質子的原子核，叫做同位素的原子核。例如，具有一个質子的原子核，称为氢原子核，但是有些氢原子核不含中子，有些氢原子核含有一个中子，有些含有二个中子。这些都是氢的同位素的原子核。我們称不含中子的氢原子核为氢1（普通氢），含有一个中子的氢原子核为氢2（或叫氘、重氢），含有二个中子的氢原子核为氢3（或叫氚、超重氢）。

有些原子核会放出一个具有能量的粒子（如α粒子、电子等），而它本身变成另一种原子核；有时还会放出穿透本領很强的γ射綫（甲种射綫），而它变到另一种状态。这些現象称为核衰变現象。这种原子核是不稳定的。稳定原子核本身是不改变的。原子核在衰变的时候，不但放出粒子和射綫，同时也放出能量来。

原子核被其他原子核碰撞后会产生新的原子核。这种現象称为核反应（聚变）。在核反应产生的过程中，也常常有能量放出（当然也有吸收能量的情况）。

有很多重原子核，如鈾、鈈等可以分成二个較輕的原子核。这种現象称为核分裂（裂变）。在原子核分裂的时候，往往有大量能量放出来。

不論在原子核衰变时所放出的能量，或是在原子核起反应时所放出的能量，或是在原子核分裂时所放出的能量，均称为原子能。

原子核在衰变时所放出的α粒子、电子、γ射綫，重原子核分裂时所放出的能量等等，在国民經济上是起很大的作用的。例如鈾原子核分裂时所放出的大量能量，可以在动力上代替煤的燃烧所放出的能量。1公斤鈾的分裂可以相当約2,000吨煤的燃烧。鈷的一种同位素（鈷60）所放出的γ射綫，

可以用来探測机器部件是否有伤痕，也可以探測炼鋼的高爐爐壁有否烧坏；对收获的农作物照射后，可以杀害虫，使农作物在仓庫中长期保存。此外，在农业的增产，医学上的治疗等方面都可利用各种同位素所放出的具有能量的射綫或粒子。

有关原子核的这些現象的本質，以及原子能的如何利用，是原子能科学研究中的很主要的課題。由于原子能科学事业对于国民經济有着这样密切的关系，所以近二十年来，世界上很多国家投入了大量的人力和物力来进行原子能科学的研究。

二、怎样产生原子核的各种現象

[illegible]子核的衰变現象，以及鈾、釷等重原子核的分裂現象，[illegible]自然界中是存在着的。但是当人們不能掌握这些現象的产生，和控制这些現象的时候，要使它們为人們广泛利用，造福于人类，那是沒有可能的。

我們知道，原子核是极微小的、带正电的、結合得很紧密的粒子。如果要使稳定的原子核起衰变現象，或要使原子核产生核反应，或要使鈾、釷等重原子核产生分裂現象，我們常常利用別的粒子来和原子核碰撞，闖入原子核內，使原子核的状态改变。我們一般是用質子、重氢核、α粒子、电子、中子等来产生这些現象的。

質子、重氢核、α粒子都是带正电的粒子。它們和被碰撞的原子核之間有一个靜电排斥力。当它們愈近，排斥力就愈大。为了克服它們之間的排斥力，使得彼此之間发生碰撞，必須增加質子、重氢核、α粒子的能量。要电子与原子核碰撞，也必須增加电子的能量。各种类型的加速器，如靜电加

速器、回旋加速器、电子直綫加速器，都是用来增加带电粒子的能量的設备。

中子是一种不带电的粒子，它和原子核之間不存在象带电粒子和原子核之間的靜电排斥力。因此，中子和原子核相碰的可能性比較大，并且要中子和原子核发生作用，无須把中子的能量增加。

但是，自然界中沒有大量的自由地存在着的中子。要获得大量的中子，必須从中子源里产生。利用靜电加速器或回旋加速器所放出的重氢核，与鈹、碳、鋁等原子核起核反应后，可以产生大量中子。

鈾原子核的分裂，就是在中子打击鈾原子核时所发生的現象。在鈾原子核分裂的时候，除了放出大量能量外，还放出中子来。如果能用这些中子使其他鈾原子核再产生分裂，那么这种分裂現象可以連續不断地进行下去，而形成鏈式反应。原子反应堆就是使鈾原子核分裂产生鏈式反应的一种裝置。

原子反应堆內有很多鈾原子核不断地在分裂，在其中产生大量中子，所以它是一个良好的中子源。

我們要进行原子能事业的研究，就要能人工地制造具有放射性的原子核，人工地产生核反应、重原子核分裂等現象。这样就需要建立粒子加速器和原子反应堆。現在我国已有自制的靜电加速器，和在苏联帮助下建成的回旋加速器和原子反应堆。这些設备的建成，对于我国原子能事业打下了初步的基础。在这里，我們就来介紹一下靜电加速器、回旋加速器和原子反应堆。

三、靜电加速器

靜电加速器是利用高电压来增加带电粒子的能量的一种設备。

我們知道，如果我們把电荷送到一个空心导体里面，不管导体的表面带了多少电荷，电荷还是要跑到导体的表面上去。当把电荷源源输到导体的时候，它的电压就愈来愈高。最后，导体可达到很高的电压。

在靜电加速器上，就有这样的一个絕緣的空心金属导体，作为高压电极。它的表面上的电荷是由絲制的或橡胶制的絕緣带输送上去的。絕緣带上的电荷是由噴电設备噴上去的。具有电荷的絕緣带进入金属导体后，由金属梳把电荷从絕緣带上吸取下来，送到金属导体的表面上。

由于导体上的电荷会向空气中漏电，当导体上的电荷增加时，所漏掉的电荷会因之增加。結果，导体上所增加的电荷与漏掉的电荷就会相等，因此金属导体表面上的电荷会达到一定的限度。如果把靜电加速器放在高气压下的某种合适的气体（如氮与二氧化碳的混合气体）内，可以使金属导体的电压提得更高。

要增加能量的带正电的粒子，是从一个产生离子的装置中放出的。这个装置称为离子源。离子源是放在空心金属导体的內部的。从离子源所放出的带电粒子，受到了高压电极上的电压的作用，通过加速管而增加了能量。

加速管是由互相絕緣的許多加速电极組成的。这些电极之間，由瓷筒或玻璃筒絕緣，密封成不漏气的管子。各对电极間的电压的比例可以調节，以致电极之間有适当的电場分布。这样就能使能量被增加的带电粒子聚成一束，而不分散

管中。

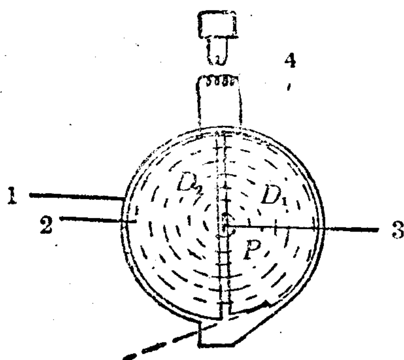
通过加速管后的能量被增加的带电粒子，打击在各种原子核上可以引起核反应。而根据所测量的结果，就可以研究原子核的特性。用这些能量被增加的带电粒子来打击原子核，可以产生新的具有放射性的原子核，人們就可来研究这种放射性原子核的性質。静电加速器也可以产生中子。

四、回旋加速器

回旋加速器的主要部分是在强磁場中的两个扁平中空的半圓形电极。由于它們的形狀象字母D字，所以也称为D形盒。这两个D形盒放在一个扁平中空的圓形真空盒內。在这两个D形盒上，加一频率为每秒几百万周的交流电压。在这两个D形盒之間有一条很狹的隙縫。要增加能量的带电粒子，就从放在这隙縫間的离子源內发射出来。

从离子源內发射出来的带正电的粒子，如果刚在发射出来的时候，D形盒D_1是負电极，D_2是正电极，则受到D_1的吸引，同时又受到D_2的排斥。这样，带电粒子就进入D_1內。由于外界磁場的影响，带电粒子在D_1內回旋。两D形盒上的交流电压的频率是这样調制着的：当带电粒子到达隙縫的时候，如到达P点时，原来吸引它的D_1变为排斥它，原来排斥它的D_2变为吸引它。在这个时候，带电粒子就受到一个拉向D_2的力。这样，它的速度增加了，因此，它的能量也增加了。带电粒子就这样在两个D形盒內經过很多次回旋后，增加到所需要的能量，于是我們設法把这些粒子输出加速器外。

我們利用回旋加速器所放出的带电粒子，可以使原子核产生核反应，由此可以研究它們的特性。回旋加速器也可以



回旋加速器示意图

1—眞空盒，2—D形盒，3—离子源，4—高频电压机。虛綫表示带电粒子运动的路径。

用来产生具有放射性的原子核，这样我們就可以研究它們的特性。这些具有放射性的原子核也可以用在国民經济上。此外，回旋加速器中所产生的重氢核与鈹、碳、鋁等原子核作用后，可以产生中子。

回旋加速器不象静电加速器的高压电极那样，要受到向空气中放电荷的限制，所以回旋加速器可以使带电子的能量比静电加速器增加得更高。

五、原子反应堆

原子反应堆的中心部分称为活性区。我們这原子反应堆的活性区是由放在重水中的很多鈾棒組成的。在这反应堆中，使鈾原子核产生分裂的是能量很小的中子——热中子。所以这是一个热中子反应堆。重水是这反应堆中的減速剂，它的作用是使鈾原子核分裂时所放出的能量大的中子变为热中子。热中子又使其他鈾原子核分裂，这样就形成鏈式反应。

这个由鈾棒与重水所組成的系統是放在一个鋁制壳內。鋁壳的外面有一个石墨层包圍着。石墨层的作用是使部分将飞出活性区的中子反射回去，減少从活性区飞出中子，也就是說可以減少活性区中中子的損失。这石墨层称为反射层。

原子反应堆在运轉的时候，常常有大量中子和大量 γ 射綫放出反应堆外。中子和 γ 射綫四散在空气中，对于工作人員和附近居民会带来很大的危害性。为了防止中子和 γ 射綫放出，在这反应堆的石墨反射层外包了一层鑄壳。鑄壳外面是一个水层，最外面是一层很厚的水泥层。

这反应堆的功率的控制，是用好几根插在活性区内的鎘棒来完成的。鎘是一种可以大量吸收中子的金属。如果在反应堆中中子太多，功率过高，我們可以把鎘棒多插入一些，中子就被多吸收了一些，反应堆的功率即可降低。相反地，如果中子太少，功率不够，我們就要把鎘棒多拔出一些。

反应堆在运轉的过程中，有大量热量放出。这些热量是由一个重水循环系統中的重水带出去的。重水在我們反应堆內不仅是减速剂，并且同时是冷却反应堆的冷却剂。重水所带出的热量，在經过热交換器时，传給另一个循环系統中的普通水，而被冷却了的重水又重新回到反应堆內。

在这反应堆中，除了这个冷却系統外，还有一个氦气的循环系統。这循環系統的目的，是把反应堆內由于重水受到中子和 γ 射綫的作用而分解成重氢和氧的混合气体，排出反应堆。因为这种混合气体是有爆炸性的，所以必需把它排出。把所排出的重氢和氧合成重水（用鈀做接触剂），再送入反应堆內。

我們这反应堆是一个实驗性的反应堆，利用这反应堆我們可以研究原子核的各种性質，可以研究大量中子与 γ 射綫照射在金属上所起的影响，研究大量中子与 γ 射綫照射在生物上所起的影响等等。它还可以用来制造各种具有放射性的同位素。这种同位素在工业、农业、医学等国民經济上都起着很大的作用。

这些設备的建成，标志着原子能事业在我国的土地上已生长起来了，証明了我国在共产党的領导下，現代化的科学技术能很快地建立起来。这一事实对資产阶級右派分子所說的共产党不能領导科学的謬論，予以强有力的回击；也打破人們对于科学技术高不可攀的迷信，和对于科学技术不可跃进的錯誤認識。

这些設备的建成，在我国科学研究上，在我国的国民經济上，是会起一定的作用的。但是对于我国全国范圍內的需要，还是远远不够的。

从加速器来講，上述两种类型的加速器，都是属于低能加速器的范疇的。除了这两种加速器外，还有很多种加速器，如同步回旋加速器，直綫加速器等等。从能量方面来講，还有中能加速器和高能加速器。原子反应堆的类型也是很多的，并且还有各种用途的原子反应堆。其中有供給科学研究用的，有供給产生动力用的。

在我国社会主义建設时期，各种类型的加速器和反应堆都是必要制造的。这样才能滿足我国全国各方面的建設事业的需要。

我国在共产党的領导下，在全国整风运动获得胜利的基础上，工农业已經掀起了生产大跃进的高潮，各項科学事业的大跃进形势也已經形成。我国的原子能事业一定会和其他建設事业一样，在完成党所規定的科学远景規划的时候，很快地赶上世界的先进水平。

热核能——未来动力的基础

苏联科学院院士 И·В·庫尔恰托夫

一

二十世紀初叶，人类在科学上取得了巨大的胜利：在技术上解决了利用重原子核——鈾和釷的大量能的問題。但是，原子鍋爐中所用的这种燃料在地层中的儲藏量是并不大的。假如地球上的全部动力轉換为这种动力的話，那末，在近代对动力需要的增长速度的情况下，鈾和釷只够用一、二百年，而在同一个时期內煤和石油的儲藏也将会用尽。

下半个二十世紀将是热核能的世紀。在热核反应里，在氫轉变为氦的过程中将会释放出能来。最初快速的热核反应是在我国、美国和英国的氫弹中实現的。現在，放在科学技术面前的任务是：不是爆炸式地来进行热核反应，而是使热核反应成为可控制的平稳地进行的过程。解决这一問題以后就可以利用地球上的大量的氫作为原子核燃料。

在热核反应堆中用的并不是普通氫，而是重氫。用等量的重氫（或氘，即原子量为2的氫）和超重氫（或氚，即原子量为3的氫）所組成的混合物来进行热核反应是較为容易的事情。在自然界中，超重氫是相当少的。要制造所需数量的超重氫就必須完全借助于中子照射鋰的核反应，但是这是一个价錢昂貴的制造过程。看来，利用純重氫来工作的热核反应堆倒是很有发展前途与重大意义的。在自然界中重氫是十分充足

的，在6,000个普通氢原子核中就有一个重氢原子核。因而一升普通水按其能量来說就相当于400公升的石油。簡单的計算表明，即使在动力菱物发展的情况下，重氢燃料将足够人类用几万万年。随着热核反应堆的建立，在实际上再也用不着担心燃料的問題了。

在最近15年内，苏联煤和石油的年产量将达到10亿吨左右。而这么許多的石油和煤只需400吨重氢就可以代替。20年以前，这个数量还只能說是一个大得不可比拟的和难以达到的数量。我記得，战前我們在列宁格勒回旋加速器上工作时，要想得到几克重氢是十分困难的事，因为当时在德涅波尔彼得洛夫斯克的烏克兰科学院物理化学研究所是用实驗室方法制造重水的。可是，我們現在的情况就大不同了。現在我們已經工业生产重水。生产的方法是多种多样的。在这些方法中值得提出的是深度冷冻法，也就是生产重水的过程是在攝氏零下250度的条件下进行的。这种較为先进的方法是由苏联科学院物理問題研究所所創造的。

从水中提取重氢的成本是不大的。能用重氢作为燃料的話，则它的价格比煤的价格的1%还要低一些。

热核反应堆将是怎样的呢？計算表明，在反应堆中应有可能把重氢加热到3—4亿度或把重氢、超重氢的混合物加热到4,000—5,000万度。只有在这样的高温下才能使氢原子核的融合进行得如此强烈，以致使所放出的能量大于因加热氢而损耗掉的能量(包括輻射损耗在内)。也只有在这样的高溫度下，“热核火塞”的鍋爐才能与用煤和石油的鍋爐相竞爭。

現在来看一看把氢加热到几亿度所必須具备的条件。

在室溫和正常的压力下，普通的重氢气体分子是以每小时五千公里以上的速度运动着的。把气体装入容器中(容器

的材料要能够耐高溫和高压），然后再把气体加热到10万度。在这样的高溫下，气体的压力大約为1,500大气压，重氢的原子离解成为带正电的重氢原子核和电子。这样，气体就完全被游离。处在这种状况下的物質，物理学家們称之为“等离子气体”。重氢原子核几乎将以每小时10万公里的速度运动着。但重氢原子核的能量仍然不足以克服它們之間的相互斥力。在10万度的高溫下，在一千年中，一升重氢等离子气体仅仅只发生两次原子核轉变。

現在我們把溫度升高到一亿度。重氢原子核的速度也就达到十分巨大的数值——每秒1,000公里。在几分之几秒鐘內所有的重氢核互相反应。一升等离子气体就会放出难以想象的一亿瓩的功率。我們就差不多达到有可能在重氢中产生自动維持的热核反应的条件。这时，等离子气体的压力为1,500万大气压，因而很明显，在这样的条件下就无法考虑什么利用一般密度下的重氢作为燃料的热核反应堆。在热核反应堆中气体的密度应保持十分小，单位体积內的粒子数不应超过处在普通压力和溫度下的气体的粒子数的几十万分之一。即使在这样的情况下，由于溫度相当高，等离子气体的压力也将是几十个大气压。

乍一看，建造热核反应堆的問題是无法解决的，因为就是在3,000度的高溫下也还沒有一种耐火材料足以能够耐受大的机械負荷。問題的复杂性还在于灼热的等离子气体是不能与壁挨近的，因为壁的快速蒸发会使等离子气体立即冷却，結果反应就会停止。要把氢加热到几亿度，就必須建造一个可靠的热絕緣，不使氢挨近容器壁。

二

事情很妙，等离子气体——完全被游离的气体的特性，使我們有可能找到原則上解决上述巨大困难的途徑。热絕緣可借助于磁場来建立，因为利用磁場可以使带电粒子不能自由地横穿磁力綫而运动。

热核反应堆的主要部分是一个完全密封的室。在“点燃”反应之前，先将此密封室抽眞空，使空气的剩余压力不超过大气压力的几千万分之一。等离子气体应“悬挂”在反应堆体內，用磁場使等离子气体不与壁挨近。为了控制热等离子气体的扩张，完全用不着用任何材料做成的壁。等离子气体可由磁場加以控制，而由于等离子气体也产生力传遞到外壳綫圈上，然后，沿着外壳綫圈所发生的电流在反应堆中造成了磁場。

还有另外一种热絕緣的方法。假如有强电流通过等离子气体，那末由这个电流所造成的磁場就可用来作为热絕緣的主要手段。为此就必須有一个导体材料制的厚的室壁。在等离子气体四周則围有磁場，电流沿着等离子气体流过，假如电流是脉冲式激发产生的，那末，它的磁場就不会很快地穿入金属体內，因而不使等离子气体与壁挨近。例如，在銅的表面上所造成的磁場要深入銅內10厘米約需一秒鐘。所以，在技术上已采用这种厚壁室，以便使沿等离子气体流过的电流所造成的磁場能保証热絕緣达到一秒多鐘之久。这时，被加热的等离子气体的压力幷不象在冷气体中那样用分子碰击的方法，而是用穿过等离子气体流过的电流所造成的磁場的方法传遞到壁上的。

我們都很熟悉，非常热的物体会发出光和热来。

假如热氢发出的光和热的强度如同固体一样。那末在温度为百万度的情况下，它的輻射在一刹那之間就会使任何物質轉为蒸汽，以至于迄今技术上所能做到的任何冷却方法都不能防止这种快速蒸发。不过，实际上热氢等离子气体是透明的，它比固体透明多少倍。它所发出的光和热也就小多少倍，綫性大小为一米的反应堆热区在温度为5,000万度和氢等离子气体密度情况下所輻射出的强度，与同一大小的固体在5,000度的高溫下所輻射出的强度是相当的。虽然这样，这仍然是一个巨大的能量流。要导出这一巨大的能量流，还需要热核反应堆的設計师們加以認真的研究。但是我們用眼睛所看到的热区将只是发光能力很弱的，因为能量流基本上是由紫外綫和伦琴射綫所組成。

无論那一个热核反应堆，为了要維持它的工作状况，都会損耗掉一部分能量。随着反应堆的体积的增大，堆中放出的能量的增长比能量的損耗要快。所以要使热核反应堆所产生的能量比損耗的多，其尺寸有一个最小的限度，用重氢和超重氢混合剂工作的反应堆，看来其活性区的最小尺寸大約为一米，用純重氢工作的反应堆則較大。显然，純重氢热核反应堆仅仅对固定式的大功率电站是适用的。

三

热核反应堆可用作为生产蒸汽的一个热源，这种蒸汽在一般回路中經过蒸汽透平，使发电机发出电能，但是也有可能直接从反应堆中取到电能，而不必經过有效作用系数小的中間热回路的过程。早在1954年，苏联科学院原子能研究所就注意到这一点，由Г.И.布德开尔詳尽研究出来的方案就是其中的一个。这种可能性的理論基础是：在重氢等离子气

体中三分之二以上的能量都是以带电粒子动能的形式放出来的。带电粒子是受磁場的控制的，所以，不难看到，用直接的方法有可能使粒子的动能轉化为电能。例如脉动电流可以用下列方法取得。假定等离子气体受外加的磁場所控制，这外加磁場是由整个热核发生器的繞組中的电流所造成。假如把磁場少許加大，那末等离子气体更加压縮，而它的温度和密度也相繼增加。由此，热核反应进行得就更快，而等离子气体受热就越强。等离子气体开始扩大，因而导致冷却，并从反应堆体积内将磁場拉出往外，磁力綫穿过繞組，結果在繞組中产生电流。在一定的工作状况下，这种电流的能量，将大于用来压縮等离子气体所損耗掉的能量。

可控制热核反应堆的建造工作在苏联、英国和美国差不多都是同时开始的。

1950年，A·Д·沙哈罗夫院士和И·Б·达姆院士提出了磁热核反应堆的第一个模型，奠定了苏联在这方面研究的基础。此后，我們在这方面又分成了許多方向来进行研究，目前，有科学家和工程师組成的几个集体在从事此项工作。1956年所发表的工作是在苏联科学院原子能研究所内由Л·A·阿尔齐莫維奇院士和M·A·冽昂托維奇院士領导，A·M·安特里阿諾夫，O·И·巴齐列夫斯卡娃，C·И·白拉金斯基，И·H·哥罗芬涅依，C·Ю·魯基揚諾夫，C·M·奥沙維茨，И·M·波特高尔尼，B·И·辛尼欽涅依，H·B·費林伯維依，H·A·雅夫林斯基和其他研究人員在某一研究方向上所完成的，在这些工作里，稀薄的重氢在所謂快速过程里用200万安培的电流加热到100万度以上。这时观察到了中子的发射。

最近半年来英国原子能委員会曾定期报道說，在哈威尔

原子能研究所的实验性热核装置"泽塔"(即"零功率热核反应装置")的安装工作已告結束并已运轉。

在今年1月24日的"自然"杂志上发表了一篇有关"泽塔"装置的說明和在此装置上所进行的一些实驗的結果。

"泽塔"装置是用来研究用磁場来保持游离氢的条件，这磁場是由氢气中流过的电流产生的，以及研究如何获得足够在重氢中产生原子核反应所需的高溫。

"泽塔"是一个用直径为一公尺的鋁管制成的密封室，管成环状，其平均直径为3公尺。室內装有重氢，压力由百万到几千万分之一个大气压。气体中有电流，其强度为20万安培。电流使气体变热，电流的磁場不讓气体扩张和气体与室的金属壁挨近。

"泽塔"装置是在知名的英国物理学家約翰・考克洛夫特領导下，由哈威尔原子能研究所的P・湯尼曼，D・弗萊，W・湯姆逊和一些科学研究人員共同制造的。該装置是由"密特洛坡里坦・維克斯"电器公司設計。英国物理学家認为，他們已成功地把重氢加热到500万度以上并能使重氢不挨近壁达几千分之一秒之久。这在一时間內曾經观察到中子輻射。"泽塔"是一个設計得很好的实驗性装置。英国物理学家在这上面做了一系列实驗，但所得到的結果还不足以說明关于在室中所发生的現象的淸楚图画。英国的另一类似装置是在阿里滂博士的領导下，由奥尔得馬斯顿的物理学家們建造的。在文章中报道說，在此装置上他們已得到了400万度以上的高溫。

在建造"泽塔"时，科学家們并未打算从热核反应中取到能量。在装置上进行实驗时，放出的能量要比用于維持工作状况所損耗掉的能量小万亿倍。

四

各国的物理学家和工程师們还得下很大功夫，首先要弄清楚工业利用热核能的途径。

在“泽塔”中，有电流通过的放电柱，是由繞在室上的綫圈所产生的弱的外磁場的作用而被保持在稳定状态中。1953年苏联青年理論学家沙夫朗諾夫就曾經作出了类似在“泽塔”上的放电柱的稳定性的全部理論。

在苏联也正在对环形室中的放电进行研究，但与英国人的方案有所不同。

发表在同一期“自然”杂志上的美国文章，并沒有描写出什么原則上新的事实。美国物理学家在大功率脉冲放电中观察到了中子輻射，但文章中所說的輻射强度，要比苏联科学院原子能研究所物理学家們所观察到的强度小得多。

杂志上所发表的文章与美国在这方面工作的规模是不相称的。美国現在起碼有5个巨大的科学中心，在专門研究可控制热核反应方面的問題，将近有500名学者参与了这项工作，其中包括美国的大物理学家、氢弹制造者E·泰勒尔。直至目前，各国在可控制热核反应方面所进行的工作极大部分仍然是保密的。热核反应堆不仅可以用于和平目的，同样也可以用于战爭目的，因为借助于热核反应堆可以得到制造原子弹用的可分裂鈾和鈈。在沒有禁止使用原子武器和氢武器之前，很难期望从事可控制热核反应研究的各国科学家之間，能达到开誠布公的地步。

从飞机、导弹説到生产过程的自动化

錢学森

一、飞机的发展过程

飞机的迅速发展只不过五十年的历史。我們知道：飞机所以能飞，是靠翅膀，有翅膀才有升力。翅膀面积大、飞行速度高，升力就大，但是飞机所受的阻力也就随着加大，所需要的动力也就增加，这样飞行的速度就有了限制。也因为同样的原故，翅膀有一定面积的飞机不能飞得太慢，飞得太慢了升力就不够，就要从空中跌落。所以飞机有一个最大速度，也还有一个最低速度。飞机初发明的时候，因为动力小，它的最大速度很小，和最低速度差不多一样大。因此，能飞十尺高，二三十尺远，就算是很大成功。飞机是在这样很简陋很困难情形下开始成长的。以后逐步加以改进。这种改进有几个方面。一个是在空气动力方面，改进翅膀形状，一面增加升力，一面又要减少阻力。减少阻力的办法是使外露的部分简单和流綫型化。早年，飞机有两层翅膀，再早有三层、四层的，支架也很多。现在不同了，飞机只有一个翅膀。这些发展都尽量改进飞机的外形，减少阻力，提高空气动力的效率。另一方面是把飞机做得更結实，改良它的材料和結构。早年，飞机是木結构，包上布噴上漆。初步的改进是在第一次世界大战以后，用鋼架代替了木架，但仍包布噴漆。后来不用包布噴漆了，用鋼架外包千层板。直到1930年以后才有

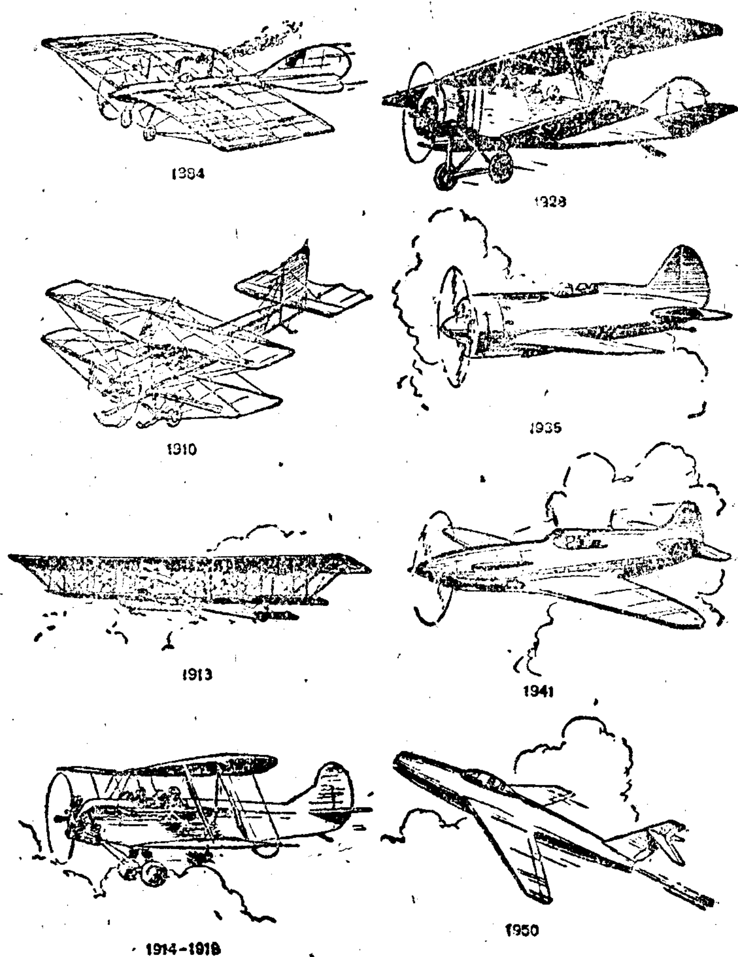


图 1

飞机形状的改变——从第一架飞机(莫扎伊斯基設計)到现在的噴气式飞机。

了更进一步的改进，开始制全金属飞机。用的金属是鋁合金，在工程学上叫硬鋁。（图 1）

所有这些改进的目的都是使飞机能飞得更快，但是一个基本問題仍然沒有解决，那就是推进力量的問題。这个問題的重要性是早就被航空家所注意了。怎样衡量推进的力量呢？那可以从每产生一馬力的动力需要多少重量的机器来衡量。因为减輕重量和飞行效率的关系很大。輪船上的蒸汽机，发一馬力就要有20多公斤重。对飞机来說，这样就太重了。早年曾有人考虑在飞机上用蒸汽机，但那太重，不行。后来用內燃机，經过很大改进，发一馬力还要5公斤重。直到1930年以后，才作到发一馬力只要半公斤了。到这时，旅客机速度达每小时300公里，軍用歼灭机达每小时400公里，而在三十年代，世界飞行速度竞賽的冠軍飞机的速度达每小时600公里。到1939年，德国的一架空軍飞机得了錦标，速度每小时700多公里（那些飞机不带客貨，才能达到这速度）。在这个时期里，航空界流传一句話：“飞机速度到了頂点了，超过700多公里再向前发展就难了”。因为再要快，就要接近声速了，也就是要达到每小时1,000公里，而愈接近声速，阻力就愈大，要化很大动力去推进飞机。装上內燃机的飞机，用活塞带螺旋桨，从整个机組重量来說，每发一馬力就要一公斤，也就是說在一定重量的限度內，动力不够大，不可能使飞机接近声速。因此那时的航空工程师說，声速好象一堵墙，飞机不能超过这垛声速的墙。那时代可以說是航空技术的黑暗时代。但就在那个时候，空气动力学家早已算出机翼在超声速下所受的力；他們也已經在試驗室得出这方面的資料。那是把飞机模型放在风洞里（风洞就是一个大管子，用鼓风机吹风，风的速度就由鼓风机来控制。这样就把飞机与风的关系倒过来，飞机不动，风动。而空气对飞机的作用，和飞机动、风不动时是一样的）。在模型支架上，可以测量出飞机

各部分所受的力。可以說超声飞机所受的力的問題，理論上和实驗上都已經有了答案，問題就是沒有能发生巨大推力的、輕的机器。这是二次世界大战前的航空界的情况。

二、噴气式飞机

在二次世界大战里，航空动力方面有了很大改变；創造了噴气式推进机。噴气式推进机和活塞带螺旋桨的有什么不同呢？在基本原則上它們是一样的，都是把气体向后推，飞机就向前进。这个科学原理就跟用桨划船一样，桨把水向后推，桨受到反作用，就带动着船向前去。螺旋桨把空气向后推，空气把飞机向前推。不同的是噴气式推进机所推后的那股气流通过内部机件，而螺旋桨所推后的空气不經过内部。噴气式飞机把空气从机头吸入机身，經过空气压縮机把空气压力提高(图２)。空气压縮机的作用和离心式的水泵一样，但比水泵轉得快，水泵每分鐘儿百轉，压縮机每分鐘約１万

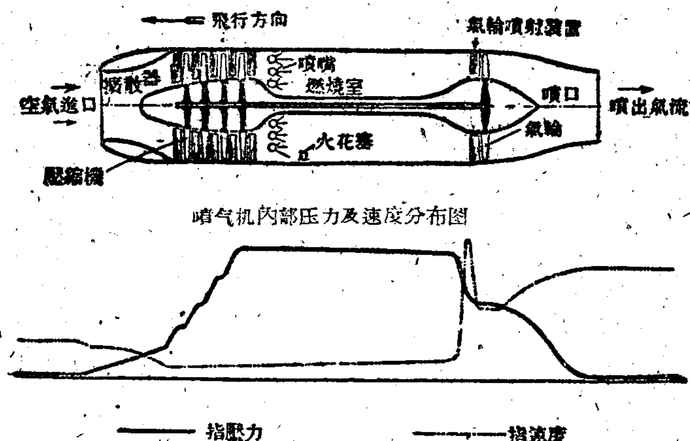
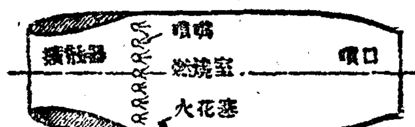


图２　軸向压縮机式渦輪噴气式发动机簡图：
图下曲綫表示发动机内部燃气的压力、速度的变化情形。

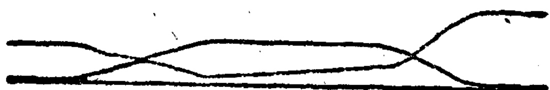
轉以上。被压縮的空气，通到燃烧箱，使噴进的煤油燃烧，溫度更高。用这样高溫高压的气体，吹动了涡輪，所产生的动能，正好能轉动空气压縮机；所以涡輪的动能在机件內部就消耗掉了。但通过涡輪后的空气，溫度压力还相当高，就在尾管中膨胀，从尾管中噴出去的气体速度很高。所以对总的推进系統来說，进气慢，出气快，就等于把空气朝后推，因此空气就把飞机向前推。这是用空气压縮机的噴气式飞机，也就是涡輪式噴气推进机。还有一种噴气推进机是不要空气压縮机和涡輪的。我們可以用一个比拟来理解它：假如一只船在水里走，水冲激船头，水位迎着船头向上升，船头的压力就增大，这就是說流体的速度的改变，会改变压力，流速小，压力就大。空气流动时也有同样情况。这种噴气推进机的整个机器，就是一条开口管子，进口比較小，随后管子就粗了。飞机从机头吸进空气后（图3），进入管子比較粗的部分，空气就流的慢，压力就增高。然后噴入油料，燃烧加热，再从出口噴出，噴出去速度比吸入速度大，因此也能推动飞机，这就叫做冲压式噴气推进机。此外也还有不用吸入空气的噴气式推进机，它自己带了液体氧和燃料，可以在机器中燃烧，得到高溫高压的气体，再噴出去，这就是火箭。德国的V-2火箭就带了酒精和液体氧。

噴气推进机和活塞式比較起来，机件比較簡单，也比較輕。早期的涡輪噴气式推进机，就可以做成每一馬力半公斤重，現在做到1/10公斤，而活塞式一馬力就要一公斤。这就是說同重量的机器，噴气式的比活塞式的力量大10倍，因此就解决了活塞式不能解决的加大动力問題。飞机速度也可以大大地提高了。二次世界大战中叶开始試驗噴气式飞机，末期才出現了軍用噴气式飞机，以后几年发展很快。最早期的

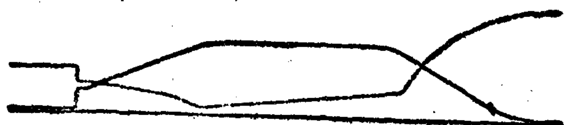
低声速飞行的喷气机的形状



喷气机内部压力及速度分布图



超声速飞行的喷气机的形状



—— 指压力　　　　—— 指速度

喷气机内部压力及速度分布图

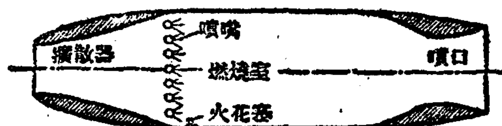


图3 冲压式空气喷气式发动机简图：
图下曲綫所示系发动机内部燃气的压力、速度的变化情形。

喷气推进机的推力只有500公斤，现在已到10,000公斤，而歼灭机的速度，到現在已經比声速高，每小时2,000公里左右，比二次世界大战前每小时700公里的最快飞速，增加近两倍，这是很大的进步。現在实驗和試造的飞机已超过每小时2,000公里。轟炸机还沒有达到声速，可是設計中的轟炸机要超过音速。

这是五十多年来飞机的发展的情况。

从另一面来看，軍用的噴气机的速度越过了声速，也就显示出它內在的矛盾，产生了消灭它自己的条件。原因是这样的：歼灭机的速度到了每小时2,000公里，人能否受得住呢？人对速度本身沒有什么反应，例如地球繞太阳轉的速度远比声音的速度快得多，可是在地球上的人类却毫无感覺，但人們对加速度的反应却很大。歼灭机跑得很快，轉弯就得轉大弯，如果轉小弯，就会脑中失血、暈眩，看不見东西；下冲加速太快，也会脑冲血、暈眩，看不見东西。速度再加快就轉不过弯来，歼灭机就失去了作用。另外因为飞机太快了，人脑反应就跟不上，两个飞机对着飞，还来不及瞄准就过去了。无法瞄准，就无法打仗，这样的飞机就沒有战斗的效能。在轟炸机方面，高速度所需要的动力很大，因此燃料的消耗也很大，10,000公斤推进力的噴气推进机的用油量，一秒鐘就要几公斤，因此超声速轟炸机跑3,000公里，投了弹，再飞回来，来回6,000公里，燃油量就大成問題。苏联旅客机TY104，飞行航程最远4,000公里，速度每小时800多公里，还低于声速。轟炸机想跑得更快，又带上炸弹和人員，就不能飞远，否则就要中途加油了。軍用噴气飞机发展到現在只不过十多年，已經发現了这些困难。有人甚而至于說現在的歼灭机是最后一代了，而轟炸机也只不过再有一代。这句話虽然未免言之过甚，但也有它一面的道理：問題的关鍵都在于駕駛人。对歼灭机来說，如果沒有駕駛人就可以不考虑加速度的极限，飞行速度再快些也不会有問題。对轟炸机来講，沒有人就不需要飞个来回，单程就可以了，燃料問題也就减輕一半。那么沒有駕駛人員的飞机是什么呢？那就是导弹。因此我們也可以肯定地說：战斗用的軍用飞机終究是要被导弹所代替的，只不过是时間迟早的問題。到那个

时候，飞机在軍事应用上就只是一个运輸工具了——自然是一个很重要的运輸工具！

三、导弹和它的自动控制

导弹上沒有人，这就要用自动控制。現在世界各国都在用很大的力气发展导弹。导弹上犯不着用渦輪式推进机，因为渦輪式机件复杂成本高，导弹只用一次，到达目标后，一炸了事，不必考虑机器的經久耐用，所以不如用冲压式噴气机或火箭来推进。后面两种在性能上也有分別，冲压式需要空气，如飞得太高，高空的空气稀薄，就不能吸入足够的空气，所以冲压式噴气机很难到达40公里以上的高空。在高空就要用火箭，因为火箭自己带有氧气，就不怕高空空气少。正因为它除燃料外，还需要消耗氧气，所以它每单位拉力所需要的燃料重也就比較大，因此在导弹上我們也該尽可能地用冲压式噴气机。这說明了导弹和飞机在动力設备上有所不同。

导弹有好几种，它可以根据从什么地方放出和到达什么目标来分类。有的导弹在空中放，有的在地上放；有的是打空中的目标，有的是打地上目标。因此共分四种，就是：从空中到空中；从空中到地面；从地面到空中；从地面到地面。空中到空中的是歼灭机使用的武器。飞机速度高了，枪炮打不准，用歼灭机带导弹在远处放，再用自动控制設备讓导弹自动去找目标，就可以补救現在枪炮的缺点。从空中到地面或海面的一类中，有一种比較简单的可控制的导弹，这种导弹等于一架小飞机，它沒有人来駕駛，但弹头有电視，可把地面情况传到另一架飞机或地面上的控制站。控制站根据情况，再发出信号控制导弹的飞行。从地面到空中是防空导弹。因为高射炮只能打到一万多公尺，而噴气机可飞达一

万八千公尺以上，以后还可能达到二、三万公尺，因此高射炮就打不着它，要靠防空导弹来打。从地面到地面的导弹，其中远射程的就是所謂洲际武器，是一个很大的火箭，也就象炮弹一样无翅膀完全靠速度大来达到距离远的目标，所以又叫做洲际弹道式火箭。它实在就是两节接力式的火箭，一个大火箭頂着小火箭，大火箭先放，获得一定速度以后，扔掉大火箭，点上小火箭，使它得到更快的速度。这样射程就可以达到6,000公里，甚至10,000公里，速度达到声速的15或20倍。比这类洲际武器小一些的是单节火箭，是和V－2火箭同一类型的。它們的射程小些，約有600—2,000多公里，叫做中程弹道式火箭。这类弹道式火箭有什么好处呢？和轟炸机来比，中程火箭比較灵活，不需要飞行場，因为它可以从地面垂直起飞，达到相应速度以后轉向目标，只要用一个卡車带一块大鉄板，把鉄板在地上一鋪，就能放，在任何地点都可以放。就是巨型的洲际火箭也是由隐蔽的发射基地施放的，不用大型机場。速度也比轟炸机高得多，难防御。

导弹的主要問題是怎样才打得准确，如果放一个就能打中目标，那末它的价錢虽高，全面計算起来还是便宜。所以在导弹的整个的发展中，主要問題是准确，防空导弹更应該要求这样。对防空导弹来說，空气动力学和推进部分的問題，大致都已解决，困难的是自动控制部分。初步估計，要发展防空导弹，20%力量投到空气动力学、材料强度、推进方面，80%投到控制方面。怎样来控制呢？首先是使防空导弹长上眼睛，自己能找目标。这件事說起来象封神榜西游記上的故事，其实也并不神秘，主要是利用目标的特点来找目标。例如飞机发出的声音很响，飞机后面又噴气发热，这都是目标的特点。所以我們只要在弹头上安装了对声音和热特别敏感的仪

器，当导弹到达目标附近时，便向声音最响或最热的地方前进。或者我們也可以在弹头上安装了雷达来探測。但是我們要注意到：正象人的目力是有限度的，有眼睛的导弹弹头也不可能从离目标太远的地方来找寻目标，因此要把这导弹先引到目标的附近，然后才可利用它的弹头来自动找目标，这中間需要一个引导它到目标附近的控制系統。防空导弹的控制系統，就要利用測敌机位置的雷达。雷达放出的无綫电波，跟着敌机走（图 4），然后使用对电波特别敏感的导弹，沿着无綫电波打上去，这样导弹就一定能碰上敌机。

用雷达測飞机或导弹的位置，同时还要作快速計算，方才能及时作出适当的控制决定；这就要电子計算机，用人的計算是不够快的。所以导弹的脑筋是电子計算机，它是整个控制系統中的中心环节。現在我們就来講講电子計算机。

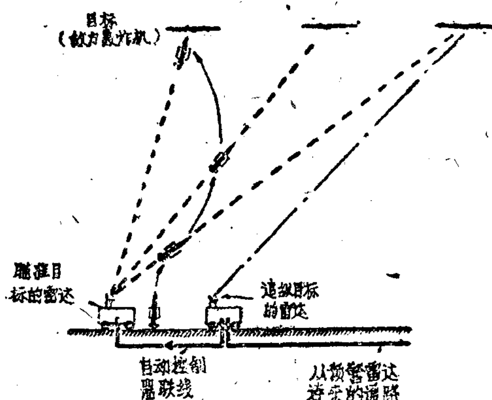


图 4　防空导弹控测系統示意图。

人們一般用十进位計算。电子計算机用的是开关，或开或关只有两个可能性，并沒有十个可能性，所以电子計算机用的是二进位。零是 0，一是 1，到了二就要进一位，写作 10，到四就要进二位写作100。由此可見引用了二进位，我們就把計算过程变为电路的开关过程，这也是数字式計算机的原則。計算的快慢就看开关跳得多快多慢，用电子去开关，

只要百万分之一秒就行了。

所以电子的数字計算机是現在最快而又很准确的計算机。此外还有一种电子計算机是模拟式的，它不靠数字的运算，它的原理是利用一定电路系統和所要計算現象之間的相似性，也就是拿电的系統来模拟自然現象。一般来說，模拟計算机比数字計算机簡单，但沒有数字計算机的准确度。一般的电子計算机都不能說是小巧的，要把它們装到导弹中去是不可能的，它們只可以留在地面上作为控制系統中的一部分。如果要把电子計算机装到导弹里面去，作为弹身內控制系統的一部分，我們首先就必須把它"专业化"，只作一件事(控制計算)，不要它万能，作通用計算；这样的計算机就可以簡单一些。但是只专业化还不够，我們还要小型化和超小型化，竭力縮小体积，从相当于一个柜子的大小縮到一个盒子的大小。这不是一件容易的事。所以光能作通用計算机还不能解决导弹問題，我們还要进一步制造出超小型的专业計算机。

我們在上面所說的自动控制系統是依靠雷达定位装置的。雷达发出的电波是直綫前进的，如果对象很远，在地平面下，你就看不到它，所以現在的弹道式火箭只在起飞后一小段飞行过程上有控制，以后太远了就沒有控制。另一种从地面到地面的远程导弹是飞航式的，也就是一架无人駕駛的单程飞机。这种洲际武器的控制系統就不能用电波控制，而用天文系統控制。导弹上带着天象台、自动記忆系統，某时观测太阳在何方，經过計算机的記忆和計算系統，查对出自己所在的正确位置，然后通过自动控制系統的活动，校正飞行方向。导弹跑得很快，又要带这样一批东西，天文观测系統还需要平稳而不受震动，这就难設計了。但好处也大，因为它可以不受別人的干扰，只受天体的控制。

洲际弹道式火箭的速度快，它大部分的弹道又沒有控制，也就不能够接受人为的干扰，所以不能用电干扰的方法使它失去效力。因此，要防御它就要用另一种导弹。也就是我們最后还要用导弹来打导弹。但这种反导弹的导弹准确度比現在要求的高得多，需要更高一級的科学技术水平。这是一个尙待解决的問題。

我們在前面約略地講过了航空发展的历史，而尤其着重于軍用航空技术的問題。当然我們知道民用航空的发展也是很快的，它是現代人們所不可缺的交通运輸工具。它的优点是速度高，因此可以节省很多的时間。拿它和火車比：我国鉄路行車速度一般不过每小时70公里，而噴气式旅客机象TY104就有每小时800—1,000公里的速度，約为火車的十倍。所以飞机的发展已經对人类文化作出了很大的貢献。現在火箭导弹的研究成果，也可以应用到交通运輸上去，把交通速度再提高十多倍，比火車的速度快一百多倍！这一个可能性可以这样来說明：我們在前面講过洲际火箭，它的射程有6,000公里，它的最高速度在每小时15,000公里以上。因为最大速度是在接近地面时出現的，这样的火箭落地的速度是很大很大的。我們如果在火箭机身上装上一对翅膀（图5），当火箭从高空回到地面的时候，空气的密度增加了，翅膀就生出升力使火箭飘起滑翔，速度也逐漸因阻力而减小，最后着落地面。这样加上了一段滑翔过程，火箭就可以达到更远的距



图5 V-2火箭改装后，用一个更大的火箭推送到高空，就能达到更远的目标。火箭組共重約100吨，航程4,500公里。

离。据計算，航程可以因此增加两倍，也就是18,000公里。其实因为地球的半径只不过6,500公里，地球上最远的距离也不过20,000公里，用了这种有翅膀的火箭差不多可以“一口气”从地球上的一点飞到任何其他一点。不但如此，因为这种远程火箭的起飞重量的大約80%是燃料，燃料烧完之后是很輕的，一装上了翅膀，就象一架飞机，因此它的着陆速度是和飞机的着陆速度不相上下的。这类有翼的火箭也可以坐人，用它作为交通运輸工具；这样从北京到莫斯科只要三、四十分鐘，当它实現的时候，交通运輸可以說进入一个新阶段了。

火箭技术的高度发展使我們可以发送人造地球卫星，肯定了人类在星际間航行的可能性，打开了空間时代。苏联在1957—1958年陆續地放了一个比一个大的卫星，1959年1月2日又成功地发射了宇宙火箭，这是人类历史上划时代的成就，是社会主义伟大的胜利！在不太远的明天，我們一定能建立起巨型卫星的星际航行站，从那里起飞到月球、到火星或更远一些的行星上去旅行。这就是导弹技术的和平利用，它給人类的活动开辟了前所未有的广闊园地。

从另一面看，导弹的发展是依靠了自动控制技术在过去20年的进展。象前面所說。自动控制技术对导弹是非常重要的，导弹的发展也就把自动控制技术推到更高的水平。这就必然地会影响工业生产方法，掀起技术上的大革命。

四、自动控制在工业中的应用

我們知道現在一般用車床生产的方法是：先要人看藍图、装料，夹刃具然后开始切削，人在其中只起了翻譯的作用，是把藍图翻成机器的动作，讓刀具按照需要去切削。其实这些工作并不一定要人去作，可以用电子計算机和自动控

制系統来代替人。工程师不必画藍图，把自己所設計的东西，記录在卡片上或录音带里，再把卡片和音带安置車床上去。卡片或音带的信号一出来，自动計算和控制系統就指揮机器完全自动地进行工作。此外，在一台机器完成几个加工步驟后，往往要把半成品送到另外的机器再上加工，这也可以自动化。把机器連起来，装上自动运输带，自动搬运、安装工件，自动調換車刀，自动完成全部加工过程，一台机器坏了就自动换上备用的机器，走另一条路綫：这就是通常所說的自动化。但还需要工程师或車間主任来照管机器的运行。現在，需要車間主任做的工作也可以用机器来代替了。用現在的計算机除能做数字計算外，还能作邏輯計算，也就是能有条有理地从几个可能性中选出最好的决定。机器操作的情况，用自动記录仪反映到計算上，經过邏輯計算，再去指揮机器。按照这个发展方向，不但体力劳动逐漸可以代替掉，一般变化不大的日常管理工作，也可讓机器来作，由电子計算机和自动控制系統来操縱。这就是无人工厂。这就达到了最高級的自动化。

不但在工厂里是如此，在机关里我們也可以利用自动控制系統处理日常例行的事。象我們的有些图書館，書多，管理人少，往往書一进去就找不到了。而管理图書、档案的工作，一般比較簡单，其中有体力劳动和非創造性的脑力劳动，这也可以用机器代替。有的图書館已經用压縮空气传递書了，可是还需要人去找書，把書从書架上送到輸送書的机器上去。将来，只要你把書摆在一定地方，有一定序列，然后編上一定号碼，放进电子計算机的記忆系統里，人們借書时，先找到片卡，打書号，到記忆系統就翻譯成書的位置，然后就自动送書。这就利用自动控制和記忆系統代替了图書管理員。

人事管理局也可以按人編号，把人事記录放在录音带上，需用时一按号碼，就自动通訊传来，并自动把記录打出。其他的管理和記录工作中，象管理原材料和成品的仓庫，公文档案，銀行帐目等等，这一切都可以利用記忆系統和計算系統来代替了。这就是自动化了的管理和办公机关。

最后必須講一講机械化和自动化这两个名詞内容的区别。我們如果把人类生产方法的整个演化过程分析一下，最早的生产方法是完全靠人們自己的体力，主要的是两只手。再进一步，人們創造了工具，最初用石器，后来利用金属。但这还是手工业，生产过程中所用的动力也还是靠人們自己的体力。从十八世紀开始，工业革命到来了，机械的动力代替了体力，动力加强了，动力集中了，使生产方法起了飞跃的变化，开始了生产机械化过程。从那时起，我們不断地用机械代替人力，不断地把主要工序机械化了。我們用了各式各样的車床、鑽床、銑床、拉床、磨床等，来代替人的操作。以后連一般的輔助工序也机械化了。这也就是逐步地加强了机械化。但是无論机械化程度多么高，我們只做到用机械代替体力劳动。在工厂里还是需要技术工人来看管机械，一个車間也必須要設車間主任，一个厂也必須要生产主任，要工程师。这些管理的人員一般不作体力劳动，那末他們作些什么事呢？讓我們来分析一下，可以看出：他們第一是“看”机器，“看”生产情况，也就是收集生产情报；然后他們根据这些生产情报，运用他們的知識和經验作出調整机器和生产过程的决定；最后他們执行这些决定。所以如果从自动控制体系的角度来看，管理人員的工作基本上是三部分：“看”是測定；作决定是利用記忆系統的內容来运算，包含数据运算和邏輯运算；执行决定是控制。照我們在前面所說的自动控

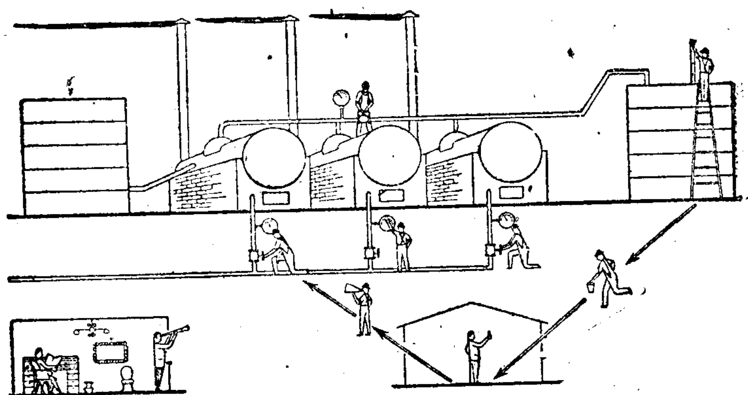


图 6　旧式的石油精煉工厂。它須要許多人員来看仪表、开开关、量油库、試样。

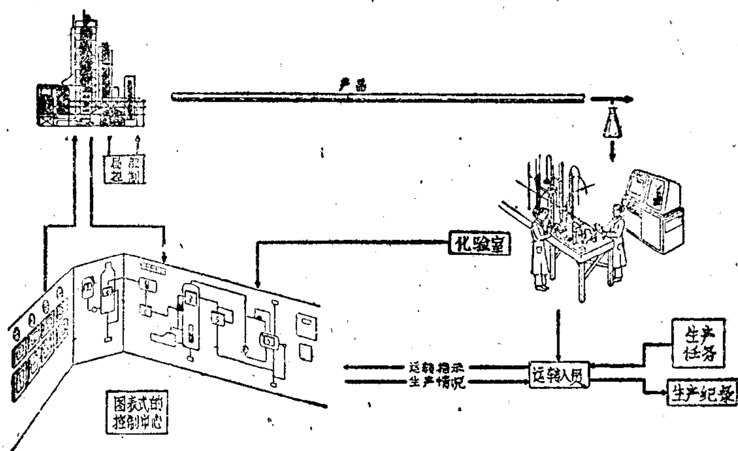


图 7　現在的石油精煉厂。人員是大大地減少了，可是因为生产情况和样品分析还需要人，中間常有时間上的脱节，造成損失。

制和电子計算系統，这三部分的工作都不需要人，自动系統都能作。如果我們真的用了自动系統代替了管理人員的非創造性脑力劳动，这就是生产自动化。当然，創造性的脑力劳

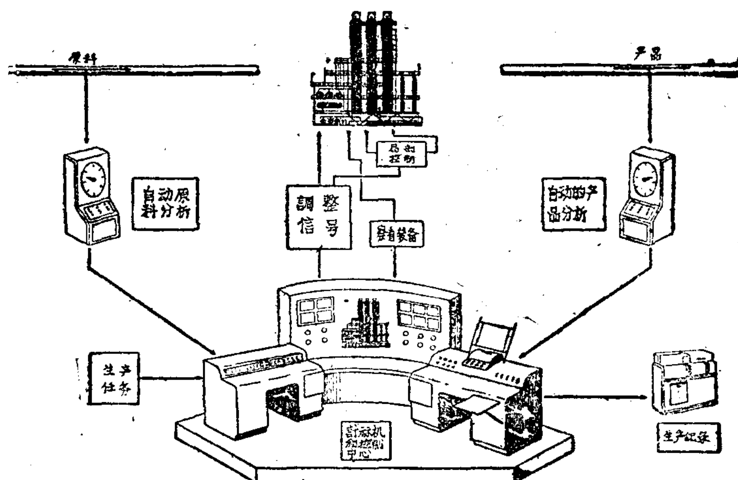


图8完全自动了的石油精煉厂。也就是无人工厂。

动，机器是做不了的。所以可以說：机械化是用机器代替人的体力劳动，而自动化是用机械系統来替人作非創造性的脑力劳动。其实自动化的意义还不是只限于以机器代人，更重要的是代替人的机器工作得比人还好，它比人工作得更快，更准确。快，就能增加生产的速度，准确，就能提高生产的效率。所以自动化是提高生产率、降低成本的一項重要措施，也因为自动化能强化生产过程，同一生产量就可以用小一点规模的設备，从而减少投資。因此自动化也是符合多、快、好、省的总原則的。

現在生产自动化正在开始，无人工厂还沒有出現，所以我們还处在技术大革命的前夜，明天才是超高速飞行、星际航行、无人工厂、自动化办公室和图書館的时代，也就是人类生产方式的一个新阶段。到那个时候、人們終于摆脫了一切非創造性的劳动，实現了共产主义的生产方法。

星际旅行

戴文赛

一、从空想到不久就能实現的事业

几千年来，人們仰头望天空，梦想着飞到天上去——飞到月亮上或别的星球上去。因此編出了許多故事：象嫦娥奔月、唐明皇游月宫、牛郎織女、七仙姑等等，都广泛流传在民間。法国著名幻想小說家儒尔·凡尔納(1828—1905)写过一本幻想小說名叫“月界旅行”，1903年由魯迅譯为中文。可見想飞到天上去，是古今中外的人們的一个共同愿望。

1731年，俄国法院書記克略庫特尼第一次乘气球升到天空。1881年，俄国莫扎伊斯基发明了飞机。但是，气球、飞艇和飞机能够飞到的高度都不大。飞机所达到的高度还沒有超过30公里；乘人的气球曾經飞到22公里的高空，沒有人乘坐的气球曾經飞到40公里左右的高空。

首先指出星际旅行的正确方法的是俄罗斯科学家齐奥尔科夫斯基(1857—1935)。他在1905年发表了一篇重要論文：“利用噴气机来探測宇宙”。他是現在全世界所公認的噴气火箭技术的創始人。后来他写了許多文章和書，都談到这个問題。他說过这样的話：“人类不会永久停留在地球上，而是在追寻着宇宙和空間，首先是小心翼翼地透过大气层的界限，然后征服太阳周围的全部宇宙。”他所写的書中有一本叫做“星际航行的目的”。齐奥尔科夫斯基也曾經建議利用火箭来

建立空中航行站，使火箭停留在天空，作为到別的星球上去的一个跳板，并在火箭上設天文台。他說："在最初阶段应当首先建造一个人造的地球卫星。"齐奥尔科夫斯基設計过許多种火箭，包括多級火箭。他在火箭的理論上也做出了重要的貢献。現在火箭学里有一个公式，就叫齐奥尔科夫斯基公式。

德国的奥倍尔特也建議制造人造卫星。奥国的皮尔开、法国的艾斯諾·貝特里、美国的哥达，也先后对火箭和宇宙航行問題作出了貢献。

1930—1932年間，苏联工程师贊捷尔試驗和制造了头一批的火箭发动机。他于1932年也主张建造人造的地球卫星，来做为宇宙航行的跳板。

在許多国家里組織了研究星际航行問題和火箭技术問題的会社，例如"英国行星际航行协会"，"美国火箭协会"，"意大利火箭协会"。到1955年为止，参加国际星际交通协会的有十八个以上的全国性的科学团体，会員共7,000人。

苏联在第二次世界大战之后，对火箭的研究更加紧进行，有計划地培养了許多干部。1953年11月27日苏联科学院涅斯米揚諾夫院长說："科学已經进展到这样的程度，送一架火箭型的交通工具到月球上去，或制造一个人造的地球卫星，已經成为現实的了。"1955年苏联科学院宣布成立一个"星际交通联合常設委員会"，由塞多夫院士任主席，卡尔本科任秘書。这一年內，苏联和美国都宣布要在第三屆国际地球物理年期間內（1957年7月1日到1958年年底）发射人造地球卫星。1957年10月4日苏联成功地发射了第一个人造地球卫星，11月3日又成功地发射了第二个人造地球卫星。在十月革命四十周年前一个多月內，連續发射出人类历史上头

两个人造地球卫星，1959年1月2日又成功地发射了宇宙火箭，这不仅表示星际旅行比原来估計的将更快地成为現实，而且充分說明了苏联在科学技术的重要方面已經走在全世界的前面，也充分說明了社会主义制度的无比优越性。

星际旅行是一个綜合性的科学問題，牵涉到天文、数学、物理、化学、生物、生理、冶金、地球物理、气象、机械和无綫电电子学等等。也許有人会問：为什么我們人类不在地球上好好住下来改造自然界，建立全世界的共产主义社会，却要化費大量的人力物力来准备到别的星球上去旅行呢？！星际旅行不是为了好玩，为了满足我們的好奇心，更重要的是可以帮助我們解决許多还沒有解决的科学問題，帮助我們进一步了解宇宙的結构和物質的結构，进一步掌握自然規律。

如果我們要确定火星上有沒有生物，月亮上有哪些化学元素，有沒有水，有沒有空气，那么最好是到那里去看看。金星表面有一层很厚的云籠罩着，在地球上用望远鏡看不清金星表面的情况。如果坐着宇宙船到金星附近去，对于金星表面的情况就可以更了解了。星际航行还可以解决很多实际問題，例如，利用人造卫星可以研究高空的情况，地球的磁場，地球表层的物質分布等等。这对于天气預报、电訊交通、地質勘探这一类实际問題的研究都有很大帮助。此外，星际航行对解决宇宙科学的基本問題——太阳系的起源、恒星的起源和演化等——也将有很大帮助。

二、星际航行应該克服的困难

(一) 要离开地球，需要克服地球的引力

我們要离开地球，地球引力就要把我們拉住。力学理論告訴我們：如果要使单位質量(1克質量)克服地球吸引力而

离开地球，所应当作的功，等于地球表面重力加速度和地球半径的乘积。地球表面重力加速度等于每秒980个速度单位（厘米/秒），地球半径等于6,370公里或六亿三千七百万厘米。这两个数字相乘就得到需要作的功，所以这个功的数值是非常大的。要使重1公斤的小球离开地球，单是克服地心吸力，需要作的功就有6,250万焦耳，这个能量可以把100公吨（10万公斤）重的物体高举6.37公尺，可以把15万公斤水从零度烧到沸点。如果火箭能把石油的燃烧值的30%用作动力，那就需要4.1吨石油。由于火箭发动机的作用时間只有几分鐘，因此宇宙船开动时，就等于另外一个方法，就是一开始給它很大的速度，大到能够克服地球吸引力，这个速度叫做“脱离速度”，或“抛物綫速度”，或“第二宇宙速度”。它等于$\sqrt{2gR}$，也就是$\sqrt{2GM/R}$，其中g是地球表面重力加速度，R是地球的半径，M是地球的質量，G是引力常数。把数值代进去，可以算出脱离速度等于每秒鐘11.2公里或每小时40,000公里。如果在和地球半径垂直的方向以$\sqrt{gR}$（即$\sqrt{\frac{GM}{R}}$）的速度射出火箭，火箭就繞地球轉动，不会掉下来，地球的吸引力刚好使火箭繞着地球轉动。这个速度叫做“环繞速度”或“圓周速度”，或“第一宇宙速度”。它等于每秒7.9公里或每小时28,000公里。

刚才所說的都是沒有空气时的情况。有了空气，就会有阻力，火箭走得越快，阻力也越大。

阻力和空气的密度有密切关系。密度越大，阻力也越大。地球大气密度随着高度而减小。所以解决这个問題的方法是利用多級火箭。头一級或头两級火箭的主要任务是把宇宙船（或人造卫星）往上送，送到几百公里高、空气已經非常少

的地方，然后开动最后一段火箭。

（二）降落問題

火箭到达别的星球上面后，如何降落也是个很大問題。假使月亮上沒有空气的話，当宇宙船接近月亮的时候，会受到月亮的吸引，速度越来越大。那时候，燃料已經沒有了，要靠自由降落。落到月面时的速度等于月亮的脫离速度。月亮的脫离速度也容易算出来，公式同刚才說的一样。月亮的半径約为地球的四分之一，月面上的重力加速度約为地球的六分之一，由此得出的月亮的脫离速度为每秒2.34公里，这个速度比声音快7倍，还是很大。在这种情况下，如果宇宙船在月亮上自由降落，一定会同月面撞毀。所以必須想办法減低速度，才不致前功尽棄。

（三）流星碰击問題

太阳系里，在地球軌道附近有很多流星，有大有小，一般很小，只有香烟头那样大，或者更小一些，只有少数大于1厘米。流星虽然小，但接近地球时，速度很大，每秒鐘从10到70公里以上。假使一个流星的重量是10克，速度是每秒35公里，它可以穿透1米厚的鋼甲。

每天落进地球大气里的流星数以百万計，总質量有人估計为几吨，有人估計为1,000吨。有些比較大的流星可能穿过大气而落到地面上来，成为“隕星”。

到别的星球上的宇宙船，为了避免流星的撞击，就必須使用好的材料制造；另外可以利用雷达来預測流星，一发現流星就改变航綫来躲开它，避免撞击。好象我們騎自行車一样，前面有人时，为了防止不撞倒他，就必須繞着他过去。

苏联第一个和第三个人造地球卫星上面都装有研究流星的仪器，一个目的就是为星际航行收集关于流星的資料，看

看星际航行可能遇到的“流星危险”有多大。

（四）紫外綫和宇宙綫的防御

在地球大气外，太阳光特别是太阳的紫外綫很强，太强的紫外綫对人有害处。另外一个問題是宇宙綫。估計在20公里的高度，宇宙綫强度为地面的50倍。用一种加上稀土金属制造的玻璃装在宇宙船的窗戶上，可以挡住强的紫外綫。至于宇宙綫，現在还沒想出什么好办法来对付它。

苏联头三个人造地球卫星都装有研究宇宙綫的仪器，第二个人造地球卫星里装有研究太阳的短紫外綫和X射綫的仪器，除了有其他目的之外，其中的一个目的就是为了星际航行做准备工作。

（五）粮食、空气、水的携带和御寒御热問題

到月亮去大約得走5天5夜，到火星去估計需要走八个半月，回来也需要八个半月。粮食、空气和水都需要自己携带。空气的問題比較小，我們可以携带液体氧（1公升的液体氧，可以变成789公升氧气）。

如果路程比較长(例如到火星去)，更好的办法是使乘客坐在密封箱內，箱內空气用化学方法使它保持清新。还可带些比較輕的食品。火星上倒是有水，不过在路上喝的水需要想办法解决。月亮和火星上的溫度变化很厉害，有时候很冷，有时候很热，所以对衣着必須注意，有人建議一种象潜水服那样的衣服，既能抗寒，又能抗热。

（六）通訊問題

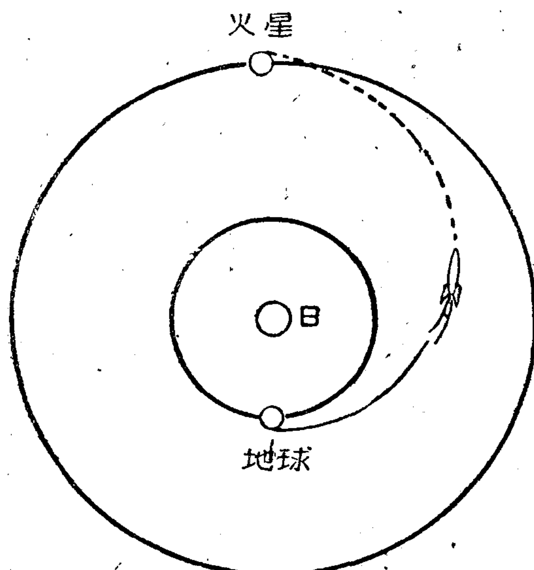
也許有人認为这个問題容易解决：只要带上天綫和无綫电的发报机和收报机就行了。事实上不是那样簡单。我們知道，如果广播电台的电力不够强，广播就传不远。月亮离地球很远，通訊問題就不簡单，需要好几件强力的通訊仪器，

要携带这些强力的仪器，就需要造很大的宇宙船，宇宙船太大，就飞不起来了。

如果飞到金星火星上面，通訊問題就更严重了。但由于近年来无綫电电子学和无綫电天文学的迅速发展，新型电子管、半导体管和大型无綫电望远鏡的制造成功，今后星际航行中的通訊問題是可以逐步解决的。

（七）航程选择和航程中定向問題

每一个天体对地球而言都在不停地运动着，所以宇宙船起飞之前必須把航行路綫精密地計算出来，千万不要在船到达原定目标时天体不在那里，因而扑了空。可能的航行路綫不止一种，距离最短的路綫不一定是最經济最省燃料的路綫。所以事前必須愼重考虑，选择最合适的航綫，应当尽量



火箭的双切軌道。

利用天体以及地球本身的轉动速度，尽量利用天体的吸引力。

比方說，从地球飞到火星上去，地球不停地运动，主要是繞太阳公轉，还有本身的自轉；火星也老是不停地公轉（速度和地球不同），所以火箭应当走一条所謂“双切軌道”的航綫，这条航綫在离开地球时和地球軌道相切，在到达火星时航綫又和火星軌道相切。火箭起飞时充分利用地球公轉速度（每秒鐘30公里）来增加火箭的空間速度，在到达火星时則利用火星的公轉速度（每秒鐘24.2公里）来減小降落在火星上的速度。对于金星也可以采用双切軌道。在航程中需要經常检查飞行方向是否正确，是否按照預定計划航行。如何在航程中迅速地精密地定出航行方向来，也是一个需要考虑的問題。

（八）如何回到地球上来

如果宇宙船上沒有人，光带着仪器，在月亮周围轉一个圈就回来，这倒沒有什么問題，回来就回来，不回来也就算了。如果宇宙船上有人，就必須保証人的生命安全。怎样回来，怎样降落，这些問題都必須加以考虑。

（九）人在宇宙船里怎样适应重力变化

当宇宙船达到环繞速度时，宇宙船內的东西就失去了重量，就无所謂上下，稍微一动，就浮起来了。在沒有重力的环境里，生活很不方便，要喝茶，茶倒不出来。同时还要考虑宇宙船起飞时对加速度的生理适应問題。

苏联已經好几次把动物（狗、猴子、老鼠、烏龟）搁在火箭里射上去，来試驗动物对于重力变化的适应情况。在第二个人造地球卫星里也装着一只狗进行了七天的試驗。

三、近代火箭技术在星际航行上的应用

过节日放的烟火，就是一种火箭。中国很早就发明了它，宋代已經利用火箭做为武器。現代火箭在技术上复杂得多。

第二次世界大战时，德国用V-2（即A 4）型火箭代替飞机轟炸英国伦敦，一共射出了8,000个以上的V-2型火箭。这种火箭用浓度75%的酒精为燃料，液体氧为氧化剂。火箭长14米，重量13吨，其中燃料和氧化剂就占了9吨。每个火箭可以带1吨的炸药。法西斯德国为了作垂死挣扎，使用了V-2火箭，結果并沒有挽救它的灭亡。当战爭将要結束时，他們又造出一种多級火箭（四級火箭），就是一个大火箭带一个小火箭，小火箭再带一个小火箭。这种火箭对星际航行有重要意义。他們把这个火箭叫“莱茵使者”，使用固体燃料，航程达到224公里。

第二次世界大战結束后，美国从德国获得了制造火箭的技术，访造了V-2型火箭。七、八年来，在新墨西哥州白沙試驗場射出好几个火箭。1954年5月24日，射出一个維金十一号火箭，达到254公里高度，最大速度每小时6,880公里，开始重量七吨半。还放出了許多其他火箭，有些火箭里面装一些自动記录仪器，如拍摄太阳紫外区光譜的仪器，拍得波长短到一千埃的太阳光譜（一埃等于一万万分之一厘米）。1949年2月，射出双級火箭（巴姆貝尔五号），第一級是V-2型的，第二級是称为“女兵伍长”的火箭。V-2最大速度是每秒1.6公里，“女兵伍长”最大速度每秒1.2公里；V-2所能达到的高度是186公里，“女兵伍长”是70公里。合起来速度是每秒2.3公里，高度400公里。

上面已經提过，苏联在第二次世界大战之后加紧火箭的研究。1957年8月，苏联洲际导弹发射成功，射程6,000公里以上，最高速度每秒6—7公里。这是一个装有自动控制設备的三級火箭。世界上第一个洲际导弹发射成功之后不到两个月，第一个人造地球卫星也用三級火箭发射成功了。这是人同自然作斗爭中的又一次輝煌胜利。而仅仅过了一年多，第一个宇宙火箭又发射成功了。

这里順便提一下新技术的应用对星际航行有重要意义。例如用半导体代替真空管，使星际火箭的重量可以大大減輕；人造卫星也将利用半导体来把太阳能变成电流。此外，将利用无綫电来指导航行，利用电子計算机来計算航程。造火箭需要耐高溫的材料。要得到最合适的材料，需要进行大量的研究工作。另外就是利用原子能作燃料的問題，1公斤鈾相当于2,500吨煤，到月亮上只需要1吨鈾就够了。鈾发出的热，使火箭里的液体氧热起来，变成溫度很高的氧气噴出去，反作用力推动火箭向前飞。原子能火箭的設計，目前还存在很多困难。

也有人开始在研究“光子火箭”，这种速度接近光的速度（每秒30万公里）的火箭如果研究制造成功，到其他恒星上去才有可能成为現实，因为离我們最近的恒星（半人馬座比邻星），距离已經大到40万万万公里了，它的光綫射到我們这里在路上就得走四年三个月，如果宇宙船的速度是每秒鐘50公里，要飞到这个恒星就需要两万多年！

四、飞到月亮上去

除流星之外，月亮是离地球最近的天体，所以月亮很自然地是我們星际旅行的第一个目的地。能够飞到月亮之后，

可以把月亮作为进一步旅行的跳板，就是我們先在月亮上开辟一个根据地，再从月亮飞到别的星球去。有时候，宇宙船經过月亮，可以在上面加燃料。

月亮离地球有38万多公里，月面溫度改变得很厉害，中午很热，溫度达到摄氏一百度以上：夜里很冷，溫度下降到零下一百五十度左右。不过有个好处：它的表面层传热本领低，在表面下几尺，溫度就改变很少。月亮上沒有水，也許有很少的空气也許完全沒有。月亮总是以同一面向着地球，所以我們在地球上看月亮总是那种样子，原因是它的自轉周期同繞地球的公轉周期是一样的。现在月面图已經画得很清楚，有人說比地图还清楚，地球上象北极区、南极区和澳洲中部都还沒有画清楚。月亮上有3万个大大小小的环形山。月亮的脱离速度是每秒2.34公里，环繞速度每秒1.65公里，表面重力加速度等于地球的六分之一，也就是說，月心引力是地心吸力的六分之一。所以在月亮上一跳，可以跳得很高。通常在地面上跳一米半，在月亮上就可以跳9米。在地面上，心脏跳动和地心吸引力有关系，月亮上的吸力比較小，对心脏跳动影响比較少，所以对有心脏病的人来說，月亮上面是个很好的休养地方。

火箭上月亮，如果采用最省燃料的航綫，則116小时(差不多5天）可以到达月亮。第一个到月亮去的火箭打算不要求它降落在月亮上面，也不載人，而是携带一些自动仪器，沿着一个很扁长的椭圓軌道繞月亮轉一圈，拍些照片，就回到地球上来。也可以考虑用电视方法，把月球的景象传到地面上。月亮的另一面我們总是看不到，火箭繞月亮轉一圈，就可以看到另外那一面(月面的一小半，約百分之四十一)的情况。如果由于事前計算得不够准确，火箭回不到地球上

来，那也沒有太大关系，因为里面沒有人。

第二步是发射一个預备降落在月亮上面，仍然沒有人乘坐但携带一部坦克型实驗車的火箭。火箭接近月亮时受到了月亮的吸引，速度将增加，月亮又沒有空气来减低火箭的速度，这样火箭降落在月面上时就有撞得粉碎的危险。解決的办法有两种：一种是在火箭前面装一个或几个小的噴气机，火箭快到月亮时这些噴气机靠自动控制設备朝前进的方向噴气，反推力便起了制动的作用，火箭便以不大的速度安全降落在月面上。第二种办法是当火箭經过地球和月亮之間的所謂“中和点”(在那一点地球吸引力等于月亮吸引力，这一点比較靠近月亮）时，靠自动控制設备使火箭掉轉了180度，蹲着下去，这样靠火箭的动力，可以抵消月亮的一部分吸力，使火箭慢慢降落。降落在月亮上面之后，坦克型实驗車便自动地跑出来，把月亮上面的各种情况通过无綫电发送到地球上来，为下一步有人乘坐的火箭上月亮提供必需的資料。

解決了降落問題之后，还必須考虑如何回来的問題，才可以把有人乘坐的火箭送上月亮。如果要利用同一个火箭飞回地球上来，那么就需要携带去回两程需用的燃料。有人建議：当火箭快到月亮的时候，可以把燃料箱丢下来，給它一个环繞速度，繞着月亮轉，成为月亮的临时卫星。等火箭从月亮上回来时，再把这燃料箱拣起来。这样可使得降落和起飞都减輕重量。

如果两程的燃料一齐带，火箭将太重，那就可以考虑回程的燃料用另外一个或几个火箭随后打到月亮上去。到了月亮上主要是靠无綫电收发报机来同地球上保持联系。

如果无綫电报打不通的話，只要带两、三公斤鎂光粉和相应分量的氧气，在月亮上燃燒，在地球上用一个小望远

鏡，就可以看到这个閃光。

火箭回到地球上时如何降落也是一个大問題。地球的吸引力比月亮大好几倍，需要想办法使火箭慢慢降落。有人建議使它多繞地球几圈，利用这种所謂“制动椭圓系”来减低速度。利用上面描述过的小噴气机来制动当然也是一种办法。

月亮自己不发光，又沒有大气，因此月亮的化学組成到今天还完全不知道。人到了月亮上就可以解决这个問題。也可以解决环形山如何形成，为什么有些环形山会突然消失，新的环形山突然出現等一系列的問題。

五、苏联的人造地球卫星

牛頓在二百多年前就已經談到建立人造地球卫星的可能性問題了。1895年齐奧尔科夫斯基发表了人造卫星的設計图，建議使人造卫星成为到月球和其他星球去的中途站，就是建立大的人造卫星，把要到星球上去的火箭先射到这个空中驛站，在那里加燃料，然后从那里以較小的速度射出去，就可以离开地球到其他星球上去。后来人們逐漸認識到人造地球卫星不仅可以做为星际航行的跳板，也可以用来进行許多科学研究工作，协助解决地球物理、物理和天体物理等方面的一系列尚未解决的問題。“国际地球物理年”这样一个国际性的科学运动，其主要目的就是爭取解决地球物理方面一些沒有解决的問題。第三屆国际地球物理年的工作范围比前两屆大得多。第一屆(1882—1883)只限于两极地区的气象观测工作，所以称为“第一屆国际极年”。第二屆国际极年（1932—1933）增加了电离层、水文、日地关系这些項目。第三屆工作項目更多，因此名称由“极年”改为“地球物理

年”，共有14个工作項目：（1）气象，（2）地磁，（3）极光和气輝，（4）电离层，（5）宇宙綫，（6）太阳活动，（7）經緯度測定，（8）冰川，（9）海洋，（10）地震，（11）重力，（12）核子輻射，（13）火箭和人造卫星，（14）南极北极探险。

苏联和美国都准备在第三届国际地球物理年期間內发射人造卫星，結果是苏联先发射成功。苏联的第一个人造地球卫星于1957年10月4日发射成功，用三級火箭发射。第三級火箭末端裝着球形的人造卫星，其外复盖着一个圓錐形的保护体。火箭首先垂直上升，到了几十公里高的地方第一級火箭所携带的燃料用完之后便自动脫落掉下。第二段火箭开动之后，一面上升，一面靠在它里面的自动控制設备开始傾斜。到第二段火箭脫落第三段火箭开动之后，火箭已經是在二百多公里高的地方和地面平行地前进了。这时候速度已經超过第一宇宙速度，保护体和人造卫星相繼地被弹出了火箭之外，卫星便在橢圓軌道上繞地球旋轉起来了。出乎意料之外，最后一段的运載火箭也繞地球轉起来了。开始它們运轉一圈的时間是96.17分鐘，軌道离地面最近为228公里，最远約947公里。但在几百公里的高度仍有一些空气，空气阻力使軌道愈来愈小愈圓。卫星和运載火箭分离时彼此就有一个相对速度，它們的形状、体积和質量又不同，所受到的大气阻力便不一样。这样，火箭的軌道就縮小得快一些。

第一个人造地球卫星的壳是用鋁合金制成的，直径58厘米，里面裝着两个无綫电发报机，以及研究流星和宇宙綫的仪器。卫星外面有四条两米多长的天綫。两个发报机輪流发出訊号，波长一个是15米（頻率20,005兆周），另一个是7.5米（40,002兆周）。电源用干电池，到10月27日电就用完了，不再发出訊号了，电共用23天。整个人造卫星的重量是83.6

公斤。

苏联的第二个人造地球卫星于1957年11月3日发射出去，这次就使最后一段火箭做为人造卫星。在它里面有两个容器，一个是球形的，装着两个无綫电发报机和电源設备（蓄电池），溫度調节装置，記录溫度变化以及其他参数的灵敏仪器。另外一个容器是圓筒形的，是一个密封舱，里面装着一只狗来試驗动物对于宇宙飞行环境的生理适应情况。此外，在火箭前部还有研究太阳的短紫外輻射和X射綫的仪器，在火箭体上装有研究宇宙綫的仪器。仪器、电源、試驗动物和容器的总重量是508.3公斤，等于第一个人造地球卫星重量的6倍多。两个发报机所发出的訊号的波长仍为15米和7.5米，波长15米的訊号的持續时間和間歇时間平均各为0.3秒，和第一个人造地球卫星一样。7.5米的訊号則是連續的。第二个人造地球卫星刚发射时，繞地球一圈的时間是103.75分鐘，卫星在近地点时离地面225公里，在远地点时离地面1,671公里，这些数字以后逐渐減小。

头两个人造地球卫星的軌道面都和地球赤道面成65度的交角，这样全球各地除了北极圈內和南极圈內地区之外，都有机会观測到人造卫星。只要人造卫星在黃昏或黎明經过观測地点上空，这时太阳已落下或尚未升起来，天空相当暗，人造卫星在数百公里高空飞行，太阳光綫照射到它，它把太阳光反射到观測者所在地，观測者便看到卫星了。第一个人造地球卫星是球形的，表面光滑，所以反射到观測者眼睛的光并不强，卫星看起来很微弱。运載火箭和第二个人造地球卫星（本身就是火箭）則反射多得多的太阳光，最亮时比天狼星（天上最亮的恒星）还要亮。光学观測（包括照相）之外，还可以进行无綫电观測，包括用强力的雷达进行观測，和在电

源用完之前用无綫电望远鏡观測以及接收无綫电訊号。分析接收到的无綫电訊号(訊号持續时間的变化，持續时間和間歇时間的比率的变化，訊号强度和淸晰程度的改变）可以得出許多宝貴資料来。第二个人造地球卫星的电源用了七天就完了。

这几个人造地球卫星的軌道都在逐漸縮小，卫星逐漸下降。当卫星下降到离地面200公里左右的地方，那里大气密度已足够大，使得卫星和空气摩擦而发热生光，如同流星一样，可能完全燒毁，也可能剩一部分掉到地面上来。

第一个人造卫星在1958年1月4日陨灭，一共飞行了92天，繞地球轉了1,400圈。第二个人造卫星在1958年4月14日陨灭，一共飞行了162天，繞地球轉了2,370圈。1958年5月15日，苏联又发射成功第三个人造地球卫星。这个卫星比头两个大得多，携带着更多的仪器，可以进行好多項的研究工作。周期105.95分鐘。軌道面和地球赤道面的交角仍是65度，在远地点时，离地面1,880公里。卫星呈圓錐形，高357厘米，底的直径173厘米。卫星的总重量有1,327公斤，其中仪器和电源的重量是968公斤。卫星内装着两部发报机，发出波长为15米的无綫电訊号。电源除了特别的放电量特别高的化学能电池(氧化物水銀电池和銀鋅蓄电池)之外，还有太阳能电池(硅半导体电池)。卫星内装有測量高空大气压力、离子成分、正离子浓度、地球磁場、地球靜电場、宇宙綫、流星、太阳的微粒輻射等的仪器，无綫电遙測系統，卫星内部溫度調节系統和測量系統都比头两个卫星完善得多。仪器和无綫电装置广泛地使用了半导体元件。整个卫星里面有几千个半导体元件。这个卫星仍然用三級化学火箭射出，最后一級的火箭也繞地球轉起来。

到苏联发射成功第三个人造地球卫星的时候为止，美国只发射成功三个很小的卫星，重量最大的只有14.29公斤。这样小的卫星当然带不了多少科学仪器。

我們社会主义国家以后一定还会发射更大更重、飞得更高的人造卫星。如果把人造卫星射到36,000公里的高空，繞地球轉一周的时間便恰好是24小时，就是一昼夜繞地球一圈。这样在空中将固定不动，不升不落，只因日月的擾动，才略为移动。

将来一定还会建立有人乘坐的大的人造卫星。有人計划把它分成許多部分，用火箭携带，一片一片射上去，然后由人在高空中把它們連接起来，組成一个人造卫星。这种大的人造卫星有好几种設計。有一种包括一个大反光鏡，利用它可从太阳光产生电流。人造卫星上有天文台、宿舍、工作室、雷达設备，有种植物的地方。这些植物一方面供給我們氧气，另一方面可以吃。还有一个重要部分就是火箭的碼头，利用它作为去月亮、火星或金星的跳板。在輪胎样的房子里可以工作，也可以休息。这个輪子一面繞地球公轉，一面自轉。由于自轉，輪子里面的人感覚有一股向外的力量，象有重力一样。如果輪子直径等于70米，7秒鐘轉一周，这样得到的重力，就等于地球上的重力。人在这样的房子里，所謂上就是向着輪軸的一面，向外面就是下。习慣在上面生活以后就好了。在人造卫星上放火箭，只要給它每秒3公里多的速度，就可以离开地球到月亮上去。

六、人造卫星在科学上的用途

除了做为星际旅行的中途站之外，人造卫星在科学上还有很多的用途，現在对一些較重要的用途簡单描述如下：

1.研究流星。在人造卫星外面可以擱一条很薄的金属鵊，例如厚度只有0.001厘米的鎳鉻合金制成的薄片，两端通电。金属片一受到流星的腐蝕，电阻就增加，电流的改变可以通过无綫电遙測系統送到地上来。此外还有其他的观測流星的方法。例如有一种方法是利用压电效应。压电元件把撞到它上面的流星的机械能变成电能，产生了电脉冲。苏联第三个卫星就用了这种方法。流星的研究，除了为星际航行提供必需的資料以外，还对了解行星际空間的情况以及解决太阳系起源問題有很大帮助。

2.研究电离层。地球大气高度在80公里以上的部分称为电离层。在这层里，大气分子都电离，即失掉一个或者几个电子。为什么会电离呢？这是由于太阳的紫外綫和太阳射出的微粒，打在大气分子上，使它电离；宇宙綫也能使大气电离。

电离层和我們生活有什么关系呢？无綫电波(短波)是靠电离层的反射才传播到远的地方去。例如我們在北京能听到莫斯科电台的广播，就是靠电离层的反射作用。

过去研究电离层是从地面上向上射出无綫电波，然后接收由电离层反射下来的波。但这样只能获得关于电离层最近地面的部分的資料。苏联人造卫星由几百公里高空发出无綫电訊号，无綫电波經过了电离层很大的部分，这样就使我們有可能来研究电离层較高各层的情况。波长15米的波受电离层影响較大，7.5米的波受影响較小，这样，比較两种波所受到的影响，并配合光学观測，就可以定出无綫电波在电离层里被折射的情况。

3.研究宇宙綫。宇宙綫是从地球外射来的射綫，主要是能量极大速度很高的原子核，約百分之七十是氢核(即質子)，

百分之三十是氦核。这些高能量質点在进入地球大气之后，和大气質点碰撞，又引起了“次級輻射”。原来的宇宙綫称为“原宇宙綫”。很明显，人造卫星可以大大帮助原宇宙綫的研究。苏联的人造卫星上面装有带电粒子計数器来测量宇宙綫的强度。所获得的資料可以使我們进一步了解原宇宙綫强度随地磁緯度的变化情况，原宇宙綫的組成，它的能譜，它的来源，以及星际空間的情况（宇宙綫質点可能是在星际磁場中获得加速的）等一系列問題。

4.观测太阳的短紫外輻射X射綫和微粒輻射。地球大气从10公里到50公里的高度范圍內有不少臭氧（它的分子是由三个氧原子組成的，普通的氧分子則由两个氧原子組成），在标准条件下这些臭氧相当于不到半厘米厚的一个气层。臭氧层把天体射来的波长短于2,900埃的短紫外綫吸收了。这对于人类有好处也有坏处。太阳的紫外綫将把人的皮肤灼伤，臭氧层把太阳射来的大部分紫外綫挡住，这是好处。另一方面，太阳以及其他天体的短紫外輻射和X射綫包含着宝貴的資料，可以帮助我們了解天体的結构。所以苏联第二个人造地球卫星上面就装有三个互成120度夹角的光电倍增管，附有一系列的滤波板，来研究太阳的短紫外輻射和X射綫（太阳大气最外层名叫“日冕”，它的溫度高达100万度，所以輻射集中于从3埃到100埃的軟X射綫部分），一方面研究太阳和在它上面的各种变动，另一方面也为星际航行提供資料，上述宇宙綫的研究也有这种目的。将来在大的人造卫星里还可以装置詳細研究天体短紫外区和X射綫区光譜的設备。太阳除了射出各种电磁波之外，有时候也射出大量的微粒。这种微粒到了地球上以后，会引起极光的出現，会使地球磁場发生变化，使电离层的电离度大为增加，因而破坏了

无綫电訊交通。苏联第三个人造卫星里装有研究太阳微粒輻射的仪器——盖着薄鋁片的荧光板，和观测荧光的光电倍增管。

5.研究地球磁力的空間分布和强度变化情况。地球象一个大磁铁，也有南、北极，因而才使罗盘和指南針起作用了。但是各地的强度不同，而且时刻都在变化。地球为什么有磁性，这个問題到今天还沒有解决，已有好几种学說，但都沒有被公認为正确的。人造卫星可以帮助解决这个問題。

6.研究大气高层的物理情况。首先从人造卫星的运动情况可以推算出高空各种高度处的大气密度。大气阻力随着密度而改变，阻力使人造卫星的軌道不断变小变圓。从卫星的观测資料可以算出軌道的变化情况，因而推出各层的大气密度。高空各层的温度、气压、湿度、风向、风速，也可以利用特制的仪器来加以测量。高空物理情况的了解不仅为星际航行提供資料，也将提高天气預报的精密度。

研究高空大气的輝光現象，也就是研究地球大气本身的輻射。我們需要知道大气为什么会射出光，它的規律怎样。人造卫星可以到发生輝光的空气层，帮助我們解决这个問題。

7.研究地壳的物質分布。由人造卫星运行路綫对椭圓軌道的微小偏离，可以推算出地面上各点的重力加速度和地壳的物質分布。这将帮助我們了解地球的結构并为地質勘探工作提供資料。

8.协助大地測量工作。苏联的人造卫星的軌道面和地球赤道面成65度的交角。地球不是正圓球形而是扁球形，赤道隆起部分对卫星軌道的擾动使得軌道面不断向西轉动，对于头三个人造地球卫星，軌道和赤道的交点每天西移4度左

右。这和地球自轉軸的进动(即“岁差”現象)以及傾斜的陀螺的旋轉軸的进动，道理完全一样。从人造卫星运行的观測資料可以推算出地球的形状，定出地球的扁率。也可以把人造卫星当做測量目标，从地面上相距很远的两点同时观測它，来进行三角測量。将来发射出飞得很高不掉下来的人造卫星，軌道要素知道得很清楚，卫星位置可以預先列出表来，那就可以在航海航空时利用它来定出船或飞机的位置和航行方向。

9.观測地上云层的变化。这种观測对地上长期天气預报有很大帮助。

10.观測北极和南极地带冰的运行，为极区航行供給資料。

11.作为无綫电通訊、广播和电視的轉播站。

12.用高倍率望远鏡观測月亮和行星。将来在大的人造卫星里可以建立天文台。在这里一天24小时都可以进行天文观測，不会有天气变化，不会有大气的干扰。白昼天空也是暗的，因为沒有大气質点来散射太阳光。太阳象望月一样，不过亮得多。星星不閃爍，在望远鏡里星象不会跳动。在这种天文台里可以用放大率高达一万倍的望远鏡来詳細观測月亮和行星，可以观測天体任何一个光譜段的輻射和光譜。

七、使星际旅行成为和平的事业

苏联人造地球卫星和宇宙火箭发射成功这个科学技术上伟大成就使星际旅行成为一种在不太久的将来就可能实現的事业。星际旅行的目的应当是为了使人类进一步了解宇宙，进一步掌握自然規律，更好地利用自然力来为人类的物質生活和文化生活服务。

但是世界上却有人不这样想。例如美国一个将軍在名叫“月亮——使命站”的科学幻想电影里說：“誰征服月亮，誰就征服全世界”。这說明了帝国主义分子想把殖民主义扩展到别的星球上去的野心，全世界爱好和平的人們必須坚决反对这种罪恶的企图。

英国进步科学家克拉克在“星际航行和火箭”一書(1951年初版)內說:“好战分子是永远不明白历史眞理的，愚蠢的人們想利用月球作侵略基地，然而，这只是黎明前的黑夜，未来的世界是永恒的乐园。”在美国紐約居然有人在出卖月亮上的地契，也竟然有人买，据說有两个人因卖月亮上的地皮发生爭执而打官司。只有在資本主义制度下才会出現这样的财迷和疯子。

相反地，苏联科学院星际交通常設委員会主席塞多夫院士在1955年8月說过这样的話：“目前我們能够把一切力量和資料用于建造人造卫星上，共同努力把軍事潜力轉用到火箭的和平应用和星际航行的崇高目的上。这样的一个时机已經来到了，我想，这种崇高工作在消除冷战和巩固和平事业上会作出貢献。”

我們应該密切注意人造卫星和星际航行事业的发展，应該扩大我們的眼界，多幻想，有根据地幻想。希望大家要积极参加向科学大进軍的行列，有計划、有恒心地学习最新的科学理論和技术，发揮創造性，为我国社会主义建設的胜利完成而努力，为促使我国科学技术迅速赶上世界先进水平而努力。

无綫电电子学的应用和新发展

陈 芳 允

一、什么是无綫电电子学

无綫电和电子学本来是两个名詞，但是它們常常被人合在一起談。讓我們先来解释这两个名詞的意义。

1895年5月7日，俄国科学家波波夫发明了无綫电，十年之后就有了电子管。研究怎样制造电子管这一門科学，叫做电子学。由于近代无綫电設备中几乎都要用到电子管，因此电子学和无綫电学也就很难分离。无綫电和电子学的发展已經有五六十年的历史。現在无綫电广播和收音机都已經很普遍了，大家都很熟悉，所以我們就从广播收音机談起。

（一）无綫电波

我們用收音机收听广播，只要把波长对好，就可以收听到某一个电台发出来的声音。在收音机和广播台之間并沒有电綫相通，那么是什么东西把声音从远处传送过来的呢？是无綫电波。可見无綫电波有越过空間而且传播得很远的本領。它不但跑得远而且跑得非常快。它在空中进行的速度是每秒鐘繞地球7周半，也就是每秒鐘走30万公里。它的速度和光波的速度一样，是世界上最快的速度。所以我們收听莫斯科这样远地方的广播，也好象面对面地听苏联朋友談話一样。

轉动收音机的旋扭，叫做对波长，也可以叫做对頻率，

那就是把收音机工作的波长或是频率对到和所要收听的广播电台一样。我們要問什么叫做波长和頻率呢？我們可以拿常見的水波来做比方。丢一块石子到水里，水面上就会泛起水波，水波一环一环地往外扩张（图1）。我們在水面上某一个



图1　水波。

固定的地点，数一数每单位时間內一共跑过去几个高起来的波峰，数出来的波峰的数目便叫做頻率。我們再来量一量相邻的两个波峰之間的距离，量得的长度便叫做波长。知道了水波的頻率和波长，就很容易得出水波的速度（也就是每单位时間內水波跑过的距离），它就等于每秒鐘跑过水面上这个固定地点的波峰数目，乘上相邻波长之間的距离，也就是頻率和波长的乘积。水波是水分子的振动。无綫电波在空中的传播却不是空气分子的振动，它是一种电磁波，是电磁場的变化。我們拿最简单的无綫电波来看，如果把它的电場和

磁場的变化按距离画出来，所得到的形状和水波的形状差不多(图2)，这种波形我們叫它做正弦波。无綫电波的性質和

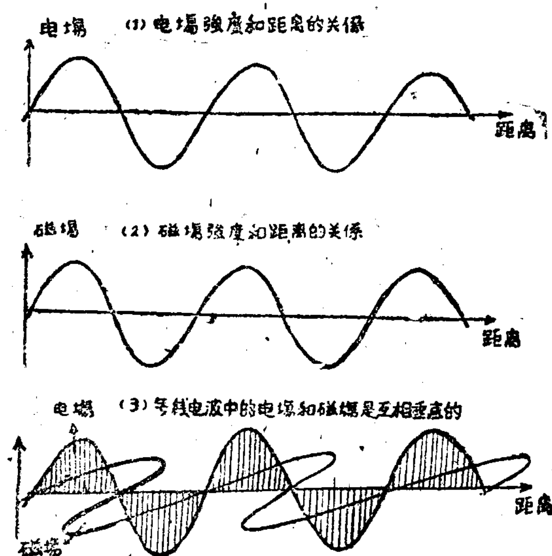


图2 正弦波。

水波的性質是大不相同的。它的频率要比水波高很多很多而且频率的范围非常大。一般說来无綫电波在室中传播的速度是一定的。我們可以想到，如果两个无綫电波的速度一样，那么频率低的波长就长，频率高的波长就短。我們可以按频率高低(或是波长的长短)把无綫电波分成几个波段。广播波段(通常叫中波)的频率是550—1,200千赫，也就是每秒振动是550,000到1,200,000次。这个频率是很高的，可是因为无綫电波的速度快，波长也还不短。以600千赫的电波作为例子，它的波长便有500米。长距离通訊用的短波的波长要短得多。波长更加短的叫超短波，在超短波的波段里，微波又是

最短的，它的频率可以到30,000兆赫以上，也就是說波长可以到毫米的范围(图3)。从最长的长波到毫米波，都有实际应用的价值。

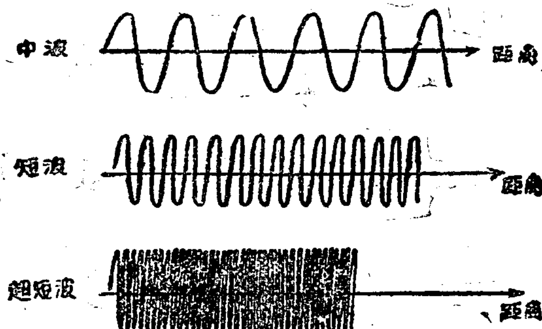


图3 中波、短波和超短波。

图2和图3中所表示的正弦波，都是按距离来画出某一刹那我們在空間里所看到的电磁場的变化。如果我們按时間画出它的变化，那么所得到的形状也还是正弦波。如果把日常用的交流电的电压或电流按时間的变化画出来，也是正弦波的形状，不过每秒鐘的变化次数(频率)只有50次，比起无綫电波的频率，不論是微波、短波或中波都要低得很多很多。这便是我們常常把无綫电波統叫做高频率电波的緣故。我們知道广播电台和收音机都是有天綫的，只有高频率电波才能有效地用天綫传送出去，日常的50赫交流电，就无法做到用天綫传送出去。无綫电的最重要关鍵之一，就是利用高频率电波，使我們可以通过天綫把它送到空中，再通过天綫把它接收下来。无綫电发展的最初阶段就是抓住了这一点，在今天这一作用还在很大地发揮着。

（二）电子管

大家都知道，收音机里有几个电子管。一般的电子管內部都被抽到很高的眞空度，因此也叫眞空管（有些种类的电子管中含有特殊的气体，不是眞空的）。图 4 中所画的是两极管，在抽去空气的灯泡里放着两个电极，上面的一个电极叫做板极，下面的叫灯絲。灯絲两端通上电流，就烧得通紅，溫度变得相当高，里面的电子就运动得很快，有些便会跑到外面来，如果灯絲和板极之間加上一个正电压，（板极的电位比灯絲的电位高），电子就会从灯絲飞到板极上去，变成电流，通到管外的电路上去。图 5 所画的是三极管，灯泡里面在灯絲和板极之間，靠近灯絲的地方加上了一个柵栏形的电极，叫做柵极。柵极一方面可以讓从灯絲出来的电子穿过它的孔隙跑到板极上去；另一方面它上面的电位大小又可以影响通过电子的多少。有了柵极，电子管的作用便大了很多。因为柵极很靠近灯絲，它上面的电位大小对于灯絲旁边的电子的影响，要比离得远得多的板极上的电位的影响大得多。因此，柵极电位很小的变化，就可以使板极上所能收到的电子的数目起很大的变化，而同时也就使板极电路中的电流起很大的变化。这就是三极管有放大电能的作用的原因。有了能够放大电能的眞空管，无綫电就能发揮更大的作用。譬如无綫电波从莫斯科传播到北京，由于路途遥远，愈

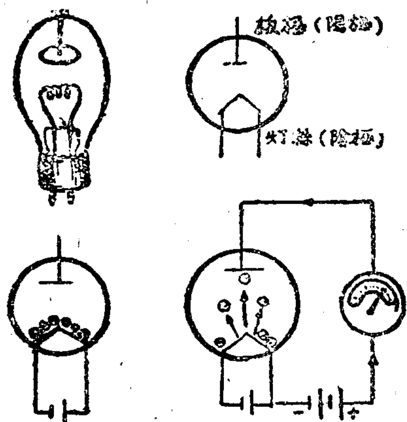


图 4　兩极管。

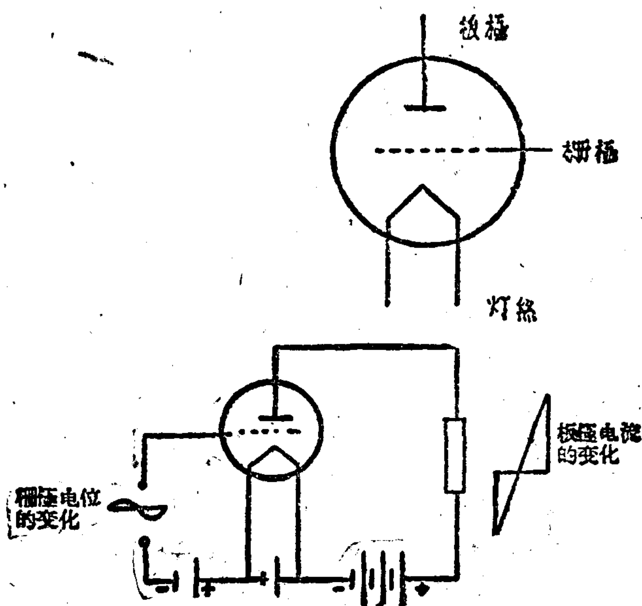


图5 三极管。

传得远就愈分散，我們所能接收到的电能也就愈弱。但是接收下来的无綫电波經过放大以后，我們便可以得到足够大的电能，重新把它变成声音，听起来就很响。三極管还有許多别的功用，譬如控制，我們在栅极加上很低的电能，便可以通过板极电流的变化来控制需要大能量的动作。除了两极管和三极管，还有五极管和其他很多种类的电子管。在最近十年以来还出現了半导体管，它不用灯絲，还省电，体积又小，在很多工作上可以代替电子管。

（三）电子綫路

讓我們再把收音机的底板翻过来看一看，底下有很多电

綫联接着各种无綫电零件(电阻、电感、电容器等)，总起来我們叫它做电子綫路。有了配合电子管的綫路，电子管才能起作用。

上面我們利用无綫电收音机簡单地介紹了无綫电波、电子管和电子綫路。无綫电波的頻率范围很大，不同頻率的无綫电波有各种不同的特性，研究各种无綫电波的性質、作用和怎样利用它为人类服务的科学一叫做无綫电学。电子管的种类也非常多，研究电子管內电子运动和电子管制造技术的学科叫电子学。有时我們也把研究电子管带上利用它的綫路合在一起叫做电子学。最近人們把这两种学科总起来說，叫做无綫电电子学。无綫电电子学的用处非常大，而且发展得愈来愈快，今天我們来說說它的一些重要用途和新的成就。

二、无綫电广播和通訊

(一) 无綫电波是怎样带起声波走的?

下面我們講一講怎样利用无綫电波来传递說話的声音。声音也是一种波，叫做声波。我們发出声音，使空气的分子发生振动，每秒鐘振动的次数也叫做頻率。我們說話的声音，頻率范围从几十到几千赫，这頻率虽然比常用的交流电高。但仍然比高頻率无綫电波的頻率低得多。声波可以經过話筒(麦克风)变成頻率和它一样的电波，在我們常見的扩音机里就是这样做的。这个电波可以由电子管放大很多倍，然后再通过喇叭把它变成声音，喇叭发出的声音就可以比原来的大很多，使几百人甚至几千人都能听得到。在喇叭把电波再变成声音之前，电波虽然已經放大了，但它的頻率仍然是声音的頻率，仍然是低頻率，仍然不能通过天綫发射出去。必須要用电綫从扩音机拉到喇叭那里，这根电綫一断，喇叭

就沒有声音了。因此虽然把声音变成了电波，它还是传不远；就好象是一个会說話的跛子。前面已經說过，高频率无綫电波却可以在空中走得远，而且走得快，但是它却好象是哑吧，不会說話。如果能讓高頻率无綫电波带上声頻电波走，就象会跑路的哑吧背上了能說話的跛子，就能又跑得快，又会說話。

把声頻电波加到高頻率电波上去的办法叫做調制。在广播电台中都有产生高頻率电波的設备，包括高頻率振蕩器和高頻率放大器。如果不經調制便把这种电波从天綫发射出去，我們即使收到了，也听不見說話的声音。在电台里还有另一部分設备，就是把声波变成电波并把它放大的設备，从这設备出来的大声頻电波便用来調制高頻率电波。最簡单同时也是最通用的調制方法是讓高頻率电波的大小随着声頻来变化，这样高頻率电波中便带有声頻的成分(图6)。我們必須認清，調制以后，高頻率还是高頻率，否則它便不能通过天綫传送出去；但是它的某种因数(现在是它的大小)必須随着声頻变化，否則便不能把声音带出去。

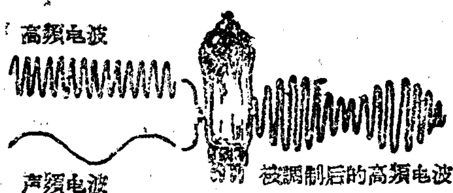


图6 調制。

收音机的天綫所收到的便是大小随着声頻变化的无綫电波。在收音机里除了放大以外，还必須要有从这放大了的电波中重新取出声頻电波的設备，那就是检波器。矿石收音机的矿石，就是起检波的作用，但是它没有放大的作用，因此用耳机子把检波后的声頻电波重新变成声音以后，响声仍然

不大。如果收音机中再用电子管放大，通过喇叭，变成的声音就可以很大（图7）。

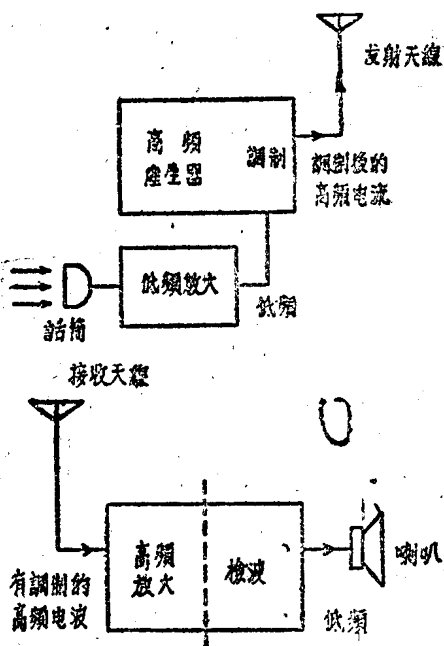


图7 发送机与收音机。

通訊和广播都是无綫电最老的用途。上面談到的就是語音通訊和广播的原理。因为应用的目的不同，在通信和广播的設备和技术上却各有各的特点。

（二）无綫电广播和通訊的用途

在国际宣传上，广播是最主要的工具之一。我們可以通过无綫电波，超越沙漠和重洋，和社会主义陣营中的各个国家交流文化，也可以对資本主义国家和东南亚各国的人民发出社会主义的声音。它传送得最快，也最方便。在国内，广播也是提高人民文化，帮助进行社会主义教育的好工具。現在我国的广播系統日益扩大，建設了很多强力的电台（电台所发出的无綫电波的功率愈强，传播的距离也愈远），并且要提高广播的質量。

无綫电通訊能做到許多有綫电話所不能做到的事。不用电綫，它便可以和几千公里以外的地方通消息。陆地和空

中、空中和空中、陆地和海上、海上和海上、海上和空中間，除了用无綫电，便不可能互相通訊。无綫电通訊設备，一般可以做得很輕便，带到任何地方都可以很快地架設起来，和别的地方通訊。这些特点也同时說明了无綫电通訊在国防上的重要性。我国农村人民公社正在大发展，在大的农业生产单位里，拖拉机出去耕地后，也要用无綫电来通消息和指揮。

三、通訊技术的新发展——多路通訊

用无綫电通訊，就象打电話一样（所不同的是电話机之間有电綫相連，而无綫电发送机和接收机之間沒有电綫相連），只能一个人对一个人說話。如果有两个人同时对着話筒說話，就会互相干扰，听不分明。如果在两地有十对人要同时通話，用无綫电就要有十对发送机和接收机，用有綫电就要有十条綫路。这样自然是非常不經济的。电訊学家很久以来就想很多办法，使同一对收发訊机或是同一条綫路可以供很多人通話，这就发展了多路通訊的技术。我們在报紙上已經讀到过，苏联的多路通訊已經做到3,000路，那便是同时可以有3,000人的說話，由一个无綫电发送机发送出去，在目的地由一个接收机收下来分配給3,000位通訊的对象同时收听。利用很短波长的微波在圓形波导管中来传送万路以上的多路通訊也在研究之中，很快便会成为现实。使用无綫电多路通訊，就大大地节省了发送机和接收机的数量。

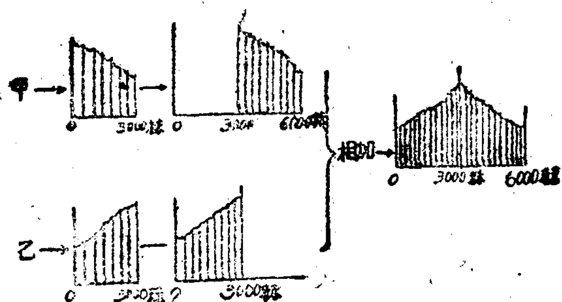
（一）多路通訊的方法

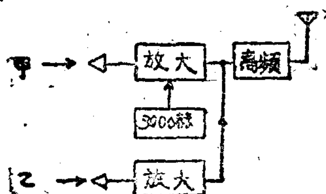
現在我們看一看多路通訊的最简单的办法。我們說話时所发出的声波頻率中，只要取出低于3,000赫这一段，便能完全被听懂。如果有甲乙二人同时說話，甲說的和乙說的頻率范围是差不多的，当然就会混在一起。当甲的說話声音变

成了电波以后，如果一律加上一个3,000赫的电波，那么原来的250赫便会变成3,250赫，原来的1,000赫变成4,000赫，而原来的3,000赫便变成6,000赫，也就是說，現在的从3,000到6,000赫之間的电波代替了原来甲的3,000赫以下的声頻电波。在乙的說話声音变成电波之后，頻率范围还是在3,000赫以下。現在再把属于甲的(从3,000到6,000赫)和属于乙的(3,000赫以下)声頻电波加在一起，便不会互相混杂而总起来成为从0到6,000赫的整个頻带(图8)。我們再用这个总起来的声頻电波加到高頻率电波上調制高頻率电波，发送出去。在收音机里收到以后，同样地通过检波，重新取出声頻(0—6,000赫，包括甲的和乙的)，再想办法把它們分拆开来，便可以同时送給两个人去收听了。再多几个人講話也可以用同样的办法加上去，不会互相干扰。除了这种办法以外，还有其他更有效的办法，可以做到同时供几十、几百或更多的人通話。不用无綫电而用电話綫或是电纜把多路总加起来的电波通到目的地，再分拆开来，也可以达到很多人同时通話的目的。

(二) 多路通訊的用途

将来，我国的大城市之間就可以用电纜或用微波多路通訊机联接起来，并且和市內电話联合成为一个系統，这样一来就可以使通話的效率提高許多倍，通話的速度也可以大大提高。在将来共产主义的繁荣而富庶的社会里，人和人之間互通訊息的数量必然会大大增多，而对于多路通信的要求也就日益迫切。在国防方面，无綫电多路通訊也是很重要。譬如說在作战的时候，一个司令部要同时和很多个单位联絡，听他們的汇报，而且要迅速地发出命令，一个电台无論怎样沒有办法完成这任务。如果带很多个电台，那么就不但要增加





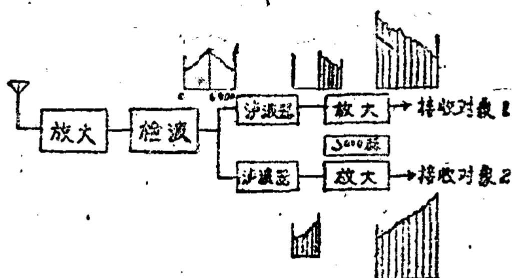


图 8 多路通訊。

行軍的困难，而且必須增加許多使用机器和維护机器的非战斗人員。有了无綫电多路通訊机，一架电台就行了，不但携带方便，还可以加快通訊的速度，增加指揮的灵活性而且还

节省人力。

早在第一次世界大战以后，无綫电电子学的应用，便已經远远超出了通訊和广播以外，通訊和广播只不过是它主要用途中的两种。下面我們介紹其他一些无綫电电子学的重要用途。

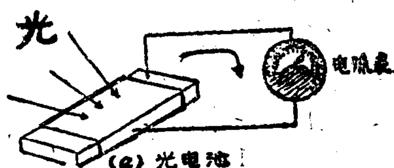
四、电　　視

上面所說的是怎样把声音用无綫电传到远地方，电視是把形象用无綫电传到远地方。譬如我們要把現在站在这里講演的情况立刻传給相隔很远的一个地方的听众，不单是讓他們听見声音而且也要讓他們看見形象，那就得用电視。

（一）电視是怎样传送形象的?

我們能够看見事物是由于光綫刺激眼睛的緣故，人用眼睛来看比較远的物体就要分不清它的形状，距离远了光綫也很容易被阻隔。要把形象传得很远，就得靠电，那就必須先把光变成电。光一变成了电，我們便可以用电的方法来处理，放大、发射、接收都有办法了。

把光变成电的办法是用光电管或是光电池(图9)。大家看見过照相用的光度計，它就是用光电池做成的。我們如果站在一个光电管的前面，脸上和身上的反光便会使它生出电流。电視机是不是就这样把形象变成电流呢? 不，事情并不这样簡单。如果真是这样做，对方一定什么也看不清楚，因为所有脸上和身上各处的光都照在这个光电管上面，所得出来的电流是各处的光混在一起的总結果，哪里还分得清眼睛和鼻子呢? 所以在电視机里我們不是一下将形象籠統地传送出去，而是将它分成許多很小的部分，把每一个小部分的亮度按先后次序經过光电轉换变成明暗和它相当的电流，放大



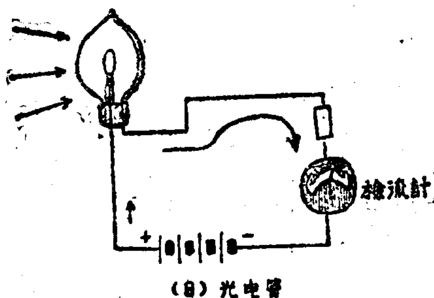


图9　光电管和光电池。

以后调制高频率发射机传送出去。在图10里，先送1，次送2，再送3……，第一条綫送完以后再送第二条綫的19、20、21，……，整个图形送完一遍以后，再回到1起送第二遍……。接收方面，收到带着电視訊号的无綫电波以后，經过放大和检波，将电再变成光，必須仍然按原来的次序把各个光点放在和原来相当的位置上，这样才能得出相似的图形。

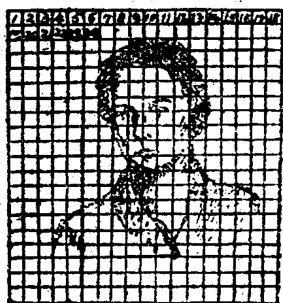


图10　把人象分成許多小点，逐点送出。

图11是电视发送方面的析象管。人物形象通过摄影鏡头

(A)照在析象管中的光电幕(Б)上，这个光电幕上涂有光敏物質，隔着一层絕緣物質的背后有一块金属板，就好象是几千几万个小光电管。幕上有了人象以后，每一个小光电管就按照它

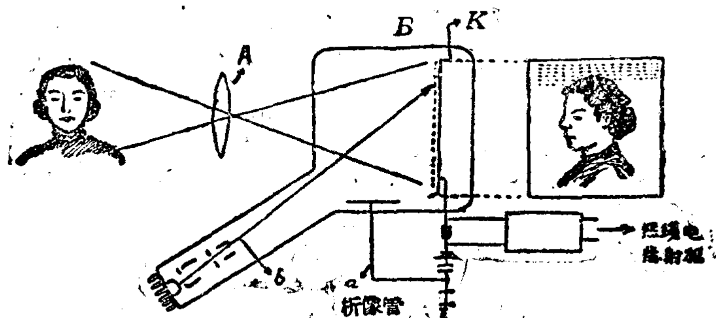


图11 电视发送管(析象管)。

所受到的光的亮度发射出多少不同的电子，这样就使它自己处在和亮度成正比的正电位上。析象管的另一部分（b）是一个电子枪，它能射出一支很細小的电子流，在管外可以用特殊的电子綫路使电子流在Б上按上一节說过的次序扫射。只有当电子流扫到某一点，那一点的小“光电管”才得到电子来补充它曾放出的电子，取消了由光照在上面而产生的正电位。就在电子流扫着的一刹那，这一处的小光电管便輸出一个小电流，通过連在(Б）背后金属板上的一个电阻(图上的R)，而这个电流的强弱是和照在这一处上的光的强度成比例的。电子流按照上节所說过的次序扫射，便等于把人象图形分割成无数个小点，陆續变成电流通过电阻。电流通过电阻所得到的电压也自然和每一小点的光的强度成比例，放大起来便可以用來調制高频率电波。在这里我們可以看到，有了跑得快的高频率无綫电波，它不但带起声音跑，而且能带起形象

跑，只要我們能把声音或是形象变成电流，再用調制的方法便可以做到。其他各种各样的訊号，只要能变成电，也都可以由高频率无綫电波带出去，传到目的地。

在接收方面收到带着电視訊号的高频率无綫电波以后，同样地經过放大和检波，从高频率电波里重新取出电視訊号。我們必須把这个电訊号变回到强弱不同的光点，并且必須把这些光点仍然按照原来发射的次序放在和原来相当的位置上，这是由电視接收管（或称阴极射綫示波管）来达到目的的（图12的Б）。这个管子前面的玻璃背后涂有荧光物質，称为荧光屏，当它被电子打击时便会发出光来，打上的电子多，发出的光就比較亮；打上的电子少，发出的光就比較弱。这个管子的后面也是一个电子枪，射出电子流。电子流

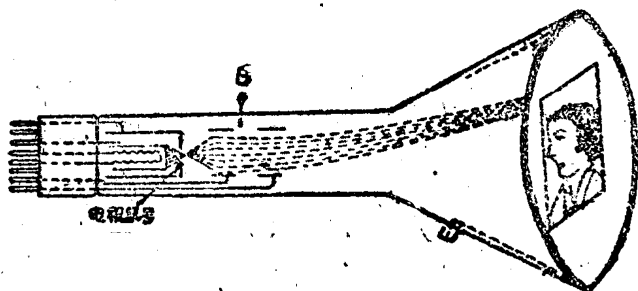


图12 电視接收管（阴极射綫示波管）。

的强弱由一个柵极（Б）上的电位高低来控制。我們把检波后的电視訊号加在这个柵极上，柵极的电位便按照电視訊号的强弱来变化，这样就控制了电子流，使它的强弱跟着电視訊号的强弱而变化，也就使得荧光幕上光点的亮度跟着电視訊号的强弱来变化。

自然，单是这样还不够。我們还必須使电子流在荧光屏

上扫划，扫的前后次序要和电視析象管扫划的次序一模一样，扫完了一行又一行，扫完了一幅又一幅，这样才能把一点一点都放对位置，得出整个的人象图形。这也是用电子綫路来达到目的的。

电視的道理說来虽然話长，但是在电視机里电子流的扫划却是非常快的，一秒鐘要把整个图形扫划几十遍，这样就和电影一样，在我們眼睛看来变成了完全連續的图形。就是有很快的动作，譬如踢足球，都不会看漏掉一点行动。

（二）彩色电視

上面說的只是黑白电視的道理。黑白电視早在30年代間已經实現了。近年来电視得到了更大的发展，彩色电視也已經研究成功。从黑白到彩色，技术上的困难是很多的，这些困难已經逐步被克服。現在的問題是怎样使彩色电視能够做到价廉物美，使更多人能够享用这一科学成果。

（三）电視的用途

电視广播对文化、教育和娛乐等各方面所起的作用将比語音广播大得多。在苏联的帮助下，我国首都已經建立起实驗性的电視台。通过电視广播，我們将可以从电視接收机里听到和看到全国各地大跃进的事迹、劳动英雄的报告、运动場中比賽的实况、精采的文艺表演以及天安門五一节和国庆节的大游行。当然，电視接收机的构造比較复杂，价格比較昂貴，但是在公共場所是完全有条件可以安装的。利用特殊的接收管和光学設备还可以把形象放映到幕上，正象放电影一样，可以給很多人看。

在科学技术工作上电視也可以起很大的作用。譬如一个好大夫給外科病人动手术，便可以通过电視从手术室将当时的实况传送到另一个房間，讓很多学員学习；又譬如在海底

装上了电视发送机，便可以把海底动物活动的情况传送到海面上供人观察，可以免除潜水員深入海底的艰苦劳动。在原子能工业中，由于放射性物質对人体的影响，往往会有一些部門是不能讓人接近的，在那里安装上电視机便可以把內部的工作情况传給在外面的管理人員看。在国防上电視也有可能被利用来作为重要的工具，譬如在战斗进行中要了解敌后的情况，用望远鏡看不見，偵察員又难以越过火綫，如果在飞机上装上电視发送机，便可以飞越火綫把实况传送回来。除了这里举出来的几个例子以外，电視还会有很多用处。由此我們也可以看到，无綫电电子学除应用于一般的通訊、广播以外，还有很大的用途。

五、无綫电测位和导航

前面我們說到过无綫电波有能够在空中传播得很远的特性，現在我們再講一講它的另一个特性，那就是它可以被物体所反射。特别是波长很短的超短波或微波，它的性質很接近光波（光波也是电磁波的一种，不过波长还要短得多），光波遇到光滑的面会被反射是大家都知道的，超短波和微波遇到物体，也会被反射。它們遇到金属物体（譬如飞机）的时候反射最强。这个作用在波波夫发明无綫电的时候已經覚察到，而且指出过有利用它来测位的可能性。近代的无綫电测位术中最主要的一点就是利用无綫电波反射这一特性。这种测位仪有时也被叫做雷达。

雷达是怎样探测目的物的位置呢？利用无綫电波反射的测位原理，可以拿回声来說明（图13①）。在山谷里面对着山峰或是在空曠的地方面对一堵高墙，我們短促地叫喊一声，看隔多少时間才听見回声，就能大概計算出山峰或是高墙离开我

們的远近。我們做这个試驗的时候，可得記住不能把贼声拖得太长，否則声音沒有喊完，回声已經到来，两个声音混在一起，就分不清楚了，也就得不出它們相隔的时間。用无綫电波来探测空中目的物的位置，也正利用这个道理，反射波就象是无綫电回声。雷达机发送无綫电波，也是一发一停，发的时間比停歇的时間要短促得多，使每一次发出的电波遇到了目的物回到雷达机的时候正好在間歇的时間里。这种形式的电波，我們把它叫做脉冲电波。

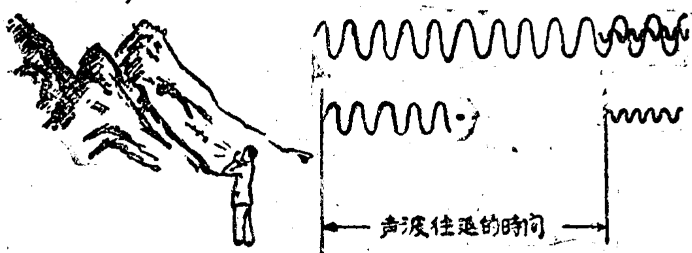


图13①回声。

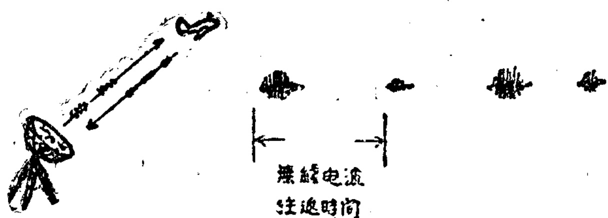


图13②雷达。

我們发出了脉冲电波，也得到了反射波，怎样才能够知道它們之間相隔的时間呢？无綫电波走得非常快，相隔100

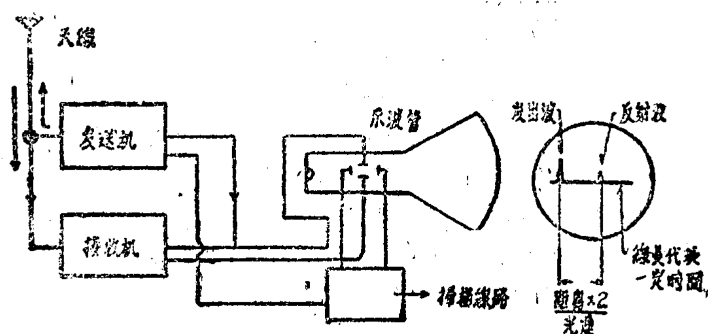


图14 雷达示波器中所显示的发送和反射的脉冲波。

公里的地方，来回的时間还不到万分之七秒，对付这样短的时間，自然不能用耳朵去听。在雷达里是用和电視里所用的接收管差不多的示波管去看的。雷达的接收部分，一方面有非常灵敏的接收机，可以把收到的微弱的"回声"放大到很高的倍数，一方面用特殊的电子綫路，使发出的脉冲波和放大以后的"回声"都在示波管上表示出来，就好象图14里所表示的形状。在示波管的熒光屏上我們可以很清楚地看出脉冲波和放大以后的"回声"的距离，目的物离得近一些，这两个脉冲波也离得近一些；目的物离得远一些，这两个脉冲波也隔得远一些。屏上的长度还可以事先画好标尺，代表实际的远近，得到了"回声"一看便知道目的物离得多远。

用上面的方法，只能知道目的物的距离，要定出它的位置，单知道距离是不够的，还必須知道它从那个方向来的。雷达的定向作用是依靠它的特殊的天綫来得到的。我們使用收音机的时候，所安装的天綫只是一根銅綫，四面八方传送过来的无綫电波都可以通过天綫收到，因此是不能辨别出无綫电

波传来的方向。雷达机上的定向天綫能够使超短波或微波限制在一个很狹窄的角度內发出去，同时也在这个角度內接收反射波。这种定向天綫还可以四面轉动，轉到了一定的方向，发現了目的物，看到了反射波，方向和距离就都确定了。从定向天綫所发出电波的角度愈小，也就是它的方向性愈强，所测得目的物的方向也愈准确。

（一）雷达的用途

在战爭中，雷达是預告敌人飞机来袭的有力的防御武器，利用了它便可以及早发現敌机的来踪去迹，派自己的飞机到那里去拦击。近代的快速武器，火箭或导弹，也可以用雷达来测位。雷达是利用世界上速度最快的无綫电波做成的，沒有比它更快的办法了。雷达所测得的訊号还可以直接用来控制高射炮和其他武器去攻打敌机或导弹，可以使攻击的准确度和速度都大大提高。

另外还有一种平面指示的雷达，随着天綫的轉动，它把从目的物反射回来的脉冲波变成示波管熒光屏上的亮点，按照目的物的方向和距离显示出来。这样就可以看到雷达机四周的目标，等于画出一个全面的地图。把这种雷达安装在輪船上，即使在大霧里也可以了解四周的情况，在停着許多船只的港口里行駛也不会和它們相撞。要是把它装在飞机場上，那么管理人員便可以在霧中了解飞机进出的情况，用来指揮它們的降落和升起。

現在的雷达大多是使用几个分米和几个厘米波长的无綫电波，如果把波长再行縮短，那就和光波的性質更相近似，就可以做到看清楚目的物的形状。現在人們正在試驗应用毫米波长的电波来达到这个目的，我們可以預計，高鉴别率的雷达不久将会創造出来。

（二）无綫电导航

在雷达发展以前，人們早已在航空和航海中利用无綫电定向术。在航行中，用无綫电定向仪定出目的地电台的方向，可以补充罗盘的不足，增加航行的安全。在雷达使用后不久，人們便知道应用脉冲波还可以替飞机和輪船在空中和海上指出十分正确的位置，因此无綫电便进一步成为航空和航海的指导工具。无綫电导航技术在第二次世界大战以后得到了更大的发展，各国有多种多样的方法和系統，利用这些方法和系統，可以做到使飞机和船只在天气恶劣的时候也能照常安全地航行，准确地到达目的地。

我們可以看到无綫电測位和导航对于国防和民用都有何等的重要性，特別是对于国防，要是沒有无綫电測位便不可能防御快速武器的袭击，要是沒有无綫电导航便不可能在天气不好的时候很好地使用空軍。从这里我們也可以看到无綫电和电子学在我国社会主义建設事业中是多么迫切而重要的一个学科！

六、无綫电电子学技术对其他科学技术的发展所起的作用

上面已經看到无綫电电子学技术的一些新发展和新应用，但是它的应用还远远不止这些，它还和許許多多的科学和技术部門发生了密切的联系。在无綫电电子学中采用了許多其他科学技术的成果，而它也給它們許多帮助。下面我們举出一些主要的例子：

（1）远距离控制和工业生产自动化：电波在空中的传播，电子在眞空和导体中的行动都是非常迅速的，电压和电流又可以被电子管放大到几十万倍甚至几百万倍，所以应用

无綫电电子学技术真正可以做到非常迅速而灵敏的测量和控制。前面已經提到过用雷达可以控制炮火来攻击敌机和导弹。另一方面，无人飞机和导弹也可以用无綫电电子学方法来控制它們的航程。在攻击空中目标的导弹的地面控制系統里，还可以附装电子計算机来把雷达所測得的各种数据加以計算，随时得出修正飞行綫路的指令，送給导弹，使它能准确地命中目标。在工业生产的自动化方面，电子控制也将大大地发展。利用无綫电电子学的放大和稳定的技术（当然，必須和电工、机械等技术結合起来）往往可以用极小的能量，自如而准确地控制极大的能量。应該指出，正好象通訊中把語音变成电和电視中把光变成电一样，几乎所有生产上所能遇到的物理量如压力、振动、光、热、化学变数（如酸度或碱度）、湿度等也都可以轉換成电的量。一变成了电的量，便可以用电子学的方法去做到自动检驗和控制产品的質量。我們都知道，世界上各种工业都在很快地朝着自动化的方向走，在自动化的事业中无綫电电子学技术将占十分重要的地位。

（2）原子能的和平利用：原子能的和平利用和原子核物理学研究几乎完全和无綫电电子学技术不可分离。首先，量测原子射綫必須应用无綫电电子学技术。在世界上技术先进的国家里放射性同位素已被非常广泛地应用着，我国在不久的将来也将在科学研究和各項技术上大量使用放射性同位素，每一个使用同位素的地方都必須要有全套的电子学測量仪器和防护設备。产生放射性同位素和发电站用的原子堆也必須用远距离电子量測和控制設备，在工作人員不能进入的地方，便可以用电視来观察。原子核物理研究中十分重要的工具——粒子加速器也要用高频率电波和微波来作为加速

的能源。苏联在制造中的100亿电子伏特的同步稳相加速器中所用的高频电源，不但有很大的功率，而且要求它的频率能够准确地随着磁場的变化而变化7.5倍。我国也建成了2,500万电子伏特的回旋加速器。較小型的电子加速器，还可以比較广泛地应用到工业和医学上去。

(3)无綫电天文学：由于微波接收和定向天綫的发展，无綫电电子学又和天文学联系起来，使天文学获得了一个有无限发展前途的方向——无綫电天文学。我們都知道，太阳能够发出大量的光和热，光波和热波都有較短的波长，太阳还发出波长較长的无綫电波。这种无綫电波是太阳上的物質在“燃烧”的过程中所发出来的。太阳并不是发出某一个固定的波长，而是杂乱地发射出一整片不同波长的无綫电波。用极其灵敏的接收机，配上高定向性天綫，指向太阳，人們发現接收机里的噪声要比天綫指向其他方向的天空时大得多。利用特殊的噪声测量方法，还可以測量出太阳无綫电波的强度，借此計算出太阳表面的溫度。除开太阳，天空中还有許多星体也发出无綫电波。它們离开我們比离开太阳更加遙远，要接收它們的无綫电波就得用更好的定向天綫，那就发展为現在的无綫电望远鏡。一般說来，要天綫的定向性愈高，它的体积也就愈大。現在許多国家的天文学家，已經用无綫电望远鏡深入到遙远的天空来探測宇宙的秘密。无綫电望远鏡和光学望远鏡相比較，它的好处是无論白天黑夜或是下雨等坏天气都可以“看見”天象，而且它所使用来观察的无綫电波波长范围比光波的波长范围要大得多。天文学家已經发現了許多个发射无綫电波的星体，称为射电点源。在这些射电点源中，还有些是不发射光波的，是光学望远鏡所看不到的。这些发現对人类了解宇宙的起源有很大的帮助。由此

可見无綫电天文学是多么重要的一个方向，它可以补充几千年来只凭光学方法来观察天空的不足。我国在苏联的帮助下，已經建立了自己的射电天文台，并且开始自己制造射电望远鏡。

（4）計算技术：电子計算机是近代科学中的又一巨大成就，这一方面在报紙和杂志上已經介紹得很多，这里不再詳細叙述。我們仅仅指出这又是一个无綫电电子学技术和其他科学結合的一个显著的例子。电子計算机是电子学和数学的結合，一部万能电子計算机能够代替成千上万人的劳动。計算技术的发展将在祖国的工业建設中起极大的作用。在跃进声中我国也已經制出了自己的万用电子計算机。

（5）人造卫星：人造卫星的发射是一件非常复杂的科学技术工作，无綫电电子学是其中最重要的环节之一。要使地球人造卫星准确地进入軌道，雷达便是可能的控制方法之一。卫星上天以后，和地面的联絡則全靠无綫电、卫星上的仪器在測得高空各种情况的数据以后，要用无綫电把它們传递下来，这便是我們所謂的无綫电遙測技术。卫星在运行中的位置，除了可以用光学方法測量外，也可以用无綫电方法来定向和測位。苏联三顆人造卫星的发射，說明了不仅在政治、經济上，而且在科学技术上，东风压倒了西风，也說明了苏联无綫电电子学发展的高度水平。

无疑地，放射回到地球表面的人造卫星和到月球去的卫星，都将在不远的将来实現。人类还将克服种种困难，飞出地球，飞出太阳系，到更遙远的宇宙深处航行。这样，解决卫星和宇宙飞航和地球間的通信联絡，必然是最重要的工作之一。而对付天文数字的遙远距离，就今天所有的无綫电电子学設备的功率来說，是远远不够的。那么这一項工作的提出，

将同时是对无綫电电子学者的一个新的挑战，也可能是无綫电电子学的决定性的发展方向之一！

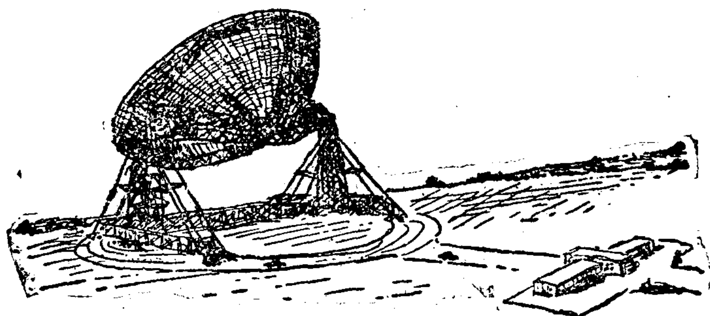


图16 无綫电望远鏡。

上面所举出的只是几个比較新而突出的例子，其实无綫电电子学几乎可以和每一种科学技术相結合。在生物学和金相学研究中电子显微鏡帮助我們看見普通光学显微鏡所看不到的东西；在大地測量中可以应用无綫电大地測量仪使測量的效率大为增加；在医学方面可以用电子学的方法来測量心脏电波和脑电波；在語言学中也可以用电子学的办法来分析語言。近年来半导体电子管已經大量地应用在电綫电电子学中，这些小巧的器件使无綫电电子学的应用范围进一步扩大。无綫电电子学技术的用处眞是数不胜数，无孔不入！特别可貴的是，掌握它，推广它，将可使祖国科学技术的发展速度大大地提高，将可使我們加速步伐，赶上世界水平！

我們应該来支持无綫电电子学的发展

我們已經看到，現代无綫电电子学技术好比是使我們装备上古人所想象的順风耳和千里眼，它可以使我們的双手更加敏捷而有效，它可以替我們节約脑力劳动，它可以帮助我

們克服悪劣的气候条件而保証航空和航海的安全，它可以讓我們能在很远距离以外来防御敌人的侵略，它还可以帮助人类征服更遙远的宇宙。这一門科学将对祖国的工业建設、国防事业、文化事业起多么巨大的作用！我們必須作出努力使它能够在我国迅速地发展起来。

因为这一門科学是非常重要的，所以各国都予以极大的注意。苏联在第五个五年計划中，将无綫电电子学的工业发展了四倍，在第六个五年計划中还指出要"尽量发展无綫电工业和仪器工业"。

我們可以預計，我国无綫电电子学的发展也必然是波瀾壮闊、万丈光芒，而且要在很短时期內超过英美和資本主义国家。要使它大大地发展就必須要有群众的基础和各方面的大力支持。现在我們的党和政府十分注意发展无綫电电子学的科学研究和有关的工业技术，我們的学校也已扩大培养这方面干部的計划，希望有更多的青年加入到这个队伍里来。

另一方面，无綫电电子学也是一种很好的业余活动，青少年們可以在閑暇的时間来制作无綫电收音机、扩音机、无綫电控制的模型飞机，和电視接收机。这些活动不但将使我国的无綫电电子学眞正建筑在广泛的群众基础上，并且可以訓練我們年青一代的手和脑，即使在日后走上其他的科学崗位都会有很大的帮助。所以我們建議应该逐步扩大无綫电业余活动，并且給青年們以器材和技术上的帮助。

我們相信这一門科学就将在祖国的园地上开花和結果，我們要很好地学习苏联和吸收其他国家的成就并作出自己的創造和发明，爭取很快地达到世界的先进水平！

电子計算机和一些有关的理論問題

胡 世 华

一、电子計算机的功用

电子計算机是20世紀最伟大的科学技术成就之一。它对于生产、科学、技术、文化发展的影响是很大的。它对于人类生活的許多方面也都有影响。它对人类生活的影响有一样东西无疑是能够和它相比的，那就是原子能。原子能和电子計算机是20世紀里面两样最伟大的科学成就，在苏联它們被看作是共产主义建設的物質基础。由此可以看出，这两門科学是怎样被重視了。

我們先来看一下，也只能是粗略地看一下，电子計算机有哪些实际的用途。

大家一定在报紙杂志上，看到过关于电子計算机的文章吧。許多文章里都講到一种用处特别大的电子計算机，人們也往往当作神話似地談論着。这种电子計算机的正确的名称应該是快速通用电子数字計算机。这种机器和模拟計算机不同。模拟計算机也很有用处，不过它不象我們所說的电子数字計算机的那样广泛。快速通用电子数字計算机是第二次世界大战之后才产生的，具有很大的发展前途，我国也已經試制成功。在这里我們打算着重介紹的就是这一种計算机。

首先讓我們来看一下，这种机器能够为我們进行怎样繁重、怎样复杂的計算。

大家知道，在科学技术中經常要用数学方法来处理問題，在用数学方法来解决这些問題的时候，要作大量的复杂的計算，因之要有专門从事計算的机构，象計算局之类。过去在計算机构中备有手搖的或电动的所謂台式計算机。可是要算的問題越来越复杂、越来越多，以至使得这种普通的計算机担当不起这种計算的任务。

現代的电子計算机每秒鐘已經超过30,000次的算术运算了，而且，速度还在很快地提高中。这种机器能够代替几万人的劳动。以容納这些人的地方来說，就大約需要有400,000平方公尺的建筑面积，就是說要有十来个很大的大楼才行。

为了使我們对电子計算机的計算速度有个大概的观念，可以把它的速度和人工計算的速度比較一下。它比人工計算要快80万倍。我們就算一个人每天能算8小时，那么一个人算一年的問題用快速电子計算机来計算，只要14秒鐘。假如一个人一生出来就会計算，他計算一輩子，一直計算到老死，算他可以計算100年，那么，用快速电子計算机来計算，只不过20分鐘就够了。再考虑一下，我們如果把算出来的东西画成表，那么用人算一頁的时間，用电子計算机可以算1,000頁1本的800本，要是从地上垒起来会有10层楼那样高。机器在1小时內所能完成的計算，是一个熟練的計算員一輩子絕无可能算完的。显然，电子計算机能够节省我們大量的劳动。

由于电子計算机算得快，算得精确，所以它能够做出为原来人們不可能做的事情。天气預报的計算就是很好例子。为預报24小时以后的天气如果用人工来計算的話，需要算好几天，等到把結果計算出来，雨已經下过，大风暴也已經过

去了，显然計算已經沒有什么价值。可是用电子計算机来算，就可以很快地把結果計算出来，及时把天气預报出去。

电子計算机也可以解决工程技术中的非常之复杂的計算問題。

根据苏联科学院列别捷夫院士的报导，利用苏联著名的計算机БЭСМ計算了决定运河最陡而可靠的側面的表。过去用15个計算員来計算，企图解决这样的問題，結果在一种方案的計算上花了一个月的时間也沒有成功，但是用БЭСМ这架机器来計算，只花了3小时就成功了，算成功的不是一种而是几十种方案，我們大可以从这几十种方案中选取所需要的最合适的方案，这样就节省了无法估計的时間、劳动和物資了。我們使用机器有可能計算其他类似的大量的方案，而选取其中最好的一种，例如它可以計算出桥梁的最好結构，使我們选取哪种又节省又坚实的結构；可以計算出飞机机翼的最好的結构，計算出噴气式飞机的发动机以及渦輪机翼片的最好的形式等等。

电子計算机不但可以解决工程技术中大量的困难的計算問題，也可以解决科学研究中提出的許多重要的計算問題。象物理学、原子核物理学、化学、数学、天文学中的許多計算問題，都可以用計算机来計算与解决。以往曾有数学家花了几十年的时間来制作数学表，这种表对于数学及其他科学研究是很有用处的。但是在БЭСМ計算机上算了一本有50,000个值的积分表，总共才花了1小时。БЭСМ計算机还为国际天文年历完成了太阳系內的小行星的軌道的計算，用机器算了几天的时間，算出了約700个小行星的軌道，而且算得那样的精确，每一顆小行星每隔40天所在的位置都算了出来。这还

不过是計算机在天文学中应用的开始。苏联在人造卫星方面是走在世界最前面的，电子計算机在担任人造卫星方面的工作也起了很大的作用。計算机在科学研究中的应用一般地也是刚刚开始，它的前途是不可限量的。

电子計算机除了可以解决复杂的計算問題之外，也可以解决一系列的邏輯問題，例如翻譯和下棋之类的問題。

从英文到俄文的科学文章的翻譯已經在苏联的計算技术研究所中研究成功已經有几年了。

机器翻譯的未来是由机器来作“口譯”。根据我們有限的見聞所及，这是一个尚未解决的問題，还有待于研究，然而最后的解决也不見得是太遙远的事情；我們知道，在今天已經有机器能把書本上的字句讀出声音来，可以使瞎子听得懂。

机器会和人下棋。苏联的計算技术研究所也研究用机器来下国际象棋的問題，而且这問題是解决得很高明的。在研究用机器来下棋的問題时，对不同的棋子給以不同的估值，例如皇帝一万点，皇后一百点，車五十点。棋子的不同局势也予以估值，例如某些棋子或某某棋子处于某种有利地位，估值就高。他們研究出使机器每走一步都是走按估值的可能最好的步子。現在对于机器下棋的研究还沒有考虑棋的战略部署，可是一个下得不太高明的棋手还是贏不了机器。用机器下棋的研究不是为了炫耀机器的“能力”，而是有着理論和实际的意义的。下面我們还要再談到这一个問題。

用电子計算机来解决数学和邏輯的問題，只是計算机的用途的一个重要的方面。另外一个重要的方面是用于自动控制和远距离操縱。有人說，电子計算机是自动化的心脏。

在这里，讓我們举几个例子来談談罢：

电子計算机可以用来控地炼鉄炼鋼。在高爐、平爐、轉爐的冶炼操作中，可以用电子計算机来自动控制。在冶炼中要控制通风量、氧气供应量以及压力等，用人来控制这些因素往往不能很精确，弄得不好会使鋼鉄凝結在爐壁上。以往在鉄块凝結在爐壁上的时候，往往要用炸葯把鉄块炸下来，可是炸葯用多了会把爐子炸坏，用少了又不起多大作用，很影响生产。用电子計算机控制冶炼可以把各种因素控制得很合适，大大提高劳动生产率。

利用电子計算机可以使車床切削完全自动化。这种自动化的原则是把运动的軌迹画在磁带上，再用磁带来操縱机床。这样做将是一方面把数学公式或藍图自机器的一头輸入机器，而切削好的机器零件从机器的另一头輸出。

自动化工厂視自动化的程度可以分为二十七个等級，第二十七級是最高級的，那就是完全沒有人在其中工作的自动工厂。这种自动工厂一方面由火車把原料自动地运进工厂，自动卸貨，自动切削，自动安裝，以至自动包裝，这样在生产綫上自动前进，以至自动地把成品整齐地装在火車上运出来。工厂的全部自动化，当然要大大地提高劳动生产率。苏联科学院院长涅斯米揚諾夫院士在“科学与生产”一文中講到，由于电子計算机在自动控制中的应用，使得“自动机器就可以代替工程师”。自然，他是說，有了这种自动机器之后，許多原来应当由工程师来做的工作，可以由自动机器来代替了。苏联共产党第二十次代表大会决定在第六个五年計划中，生产过程的綜合机械化和自动化将得到巨大的发展。由于电子計算机对于自动化有突出的重要性，苏联对于計算机的研究和制造是十分重視的。美国的垄断資本家也十分注意他們的工厂的自动化，十分注意电子計算机，可是他們所以十分注

意只是为了追求更高的利潤。

交通运输中也可以广泛使用电子計算机。飞机上用了电子計算机就成为无人駕駛的飞机，因为計算机可以自动地校正由于气流等外来影响而引起的航行偏向。将来星际交通更是离不开电子計算机了。

电子計算机对于軍事是非常重要的。

現在用飞机进行轟炸，一般都是在高空中进行的，飞机低了要为密集的高射炮火打下来，飞机在一定高度以上飞行，高射炮火就失去它的威力了。对这种空中攻击的最好的回击办法就是使用导弹。导弹就是用噴气发动机的动力来飞行的、装有自动控制系統的炸弹。导弹需要用电子計算机来操縱使它一直飞到离开敌机很近的地方和敌人一起炸掉为止。这种导弹是非用計算机不可的。計算机的計算速度要比炸弹飞行的速度还要快，它可以很精确很快地操縱导弹在空中

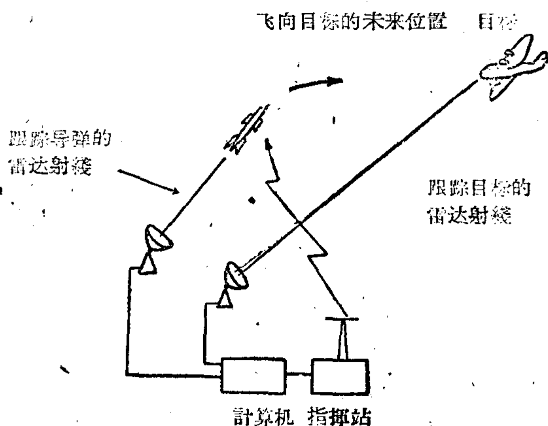


图 1

的飞行。具体用計算机来控制导弹的办法有好多种。一种比較簡单的办法是这样的(見图 1)。在地面上或軍艦上可

以使用两种雷达。当导弹放出去之后，一种雷达用它的射綫指向敌机，另一种指向我們自己的导弹。这样我們既可以确定敌机的位置又可以确定导弹的位置。雷达装置是連在計算机上的，計算机接受到确定敌机及导弹的位置的数据之后，就自动地进行計算，算出飞机未来的位置和导弹应当如何糾正自己航綫的数据，这些数据自动地轉換成修正导弹航行的訊号，这些訊号就由指揮站以无綫电波的形式自动地发射出去，由导弹接受，通过导弹中的自动控制系統和自动駕駛仪，把这些訊号轉为操縱力量，使导弹能够准确地命中敌机。在地面上象这样使用雷达和計算机来控制导弹的办法有它的局限性的，因为在一个地方的雷达的水平綫是有限制的。假如敌机是在18,000公尺高空飞行，可能在它开始轟炸之前只有10分鐘发出警报，因此我們消灭敌人的时間只有10分鐘。假如敌机飞得再低一些，我們的时間就更少了。假如敌人是用核子武器来进行空袭的，那么我們会感覚到消灭敌人的时間更加紧迫了，我們希望能在敌机飞临到它預定的轟炸目标上空之前就把它打下来，而且最好能在距离海岸綫比較远的海上就把它打下来。要达到这样的目的，办法就是把探测敌机的装置（如雷达）和計算机都装在导弹里面，使导弹能够自己探测敌人的位置，計算敌机的未来位置与自己应当如何糾正航行路綫，并自动地糾正自己的航綫。这样，电子計算机在导弹里面就“担任”了“駕駛員”的任务，就好象在导弹里装上一个思想活动很快、动作很敏捷又能忍受导弹里面那种极为恶劣的环境的駕駛員。自然，这样的导弹是很复杂的，所用的計算机也要有它的特点，例如要耐振动、耐高温、超小型等，造价当然是很高的。可是假如敌人使用的是破坏力很大的氢武器，我們就要不惜使用高价的导弹来向它回击。

可是問題还不止于此。飞机上可以放出訊号来干扰导弹，使导弹不能命中，因此計算机又要能够把干扰抵抗掉，就是要抗干扰，而飞机上又能发出訊号来干扰我們的抗干扰，我們因之又要能够抵抗由飞机上发出的这种对于我們的抗干扰的干扰。这样下去就要看誰的本領大了。干扰的本領大呢还是抗干扰的本領大呢？这就引导出一种数学的研究，就是博奕論的研究。这种研究应用于干扰与抗干扰問題的大概的原理是这样。机器可以下棋，一般說是机器和人下棋。我們可以設想，你設計一个下棋的机器，我也設計一个，就讓你設計的机器和我設計的机器来对下，这样誰設計得好的就誰贏。我們根据下棋取胜的原理来設計我們控制导弹的計算机和自动控制系統，使它能够抵抗干扰。所以，机器下棋的研究，不是为了炫耀机器的"能力"，也不是为了好玩。博奕論在苏联出版的数学文摘杂志上开辟了专栏。这一門数学在很大的程度上奠基于概率論，它有很大的国防的意义，的确，它有很大的理論和实际的意义。我們終究以为"战爭是政治的延續"。战爭的能否取胜主要决定于人的因素，决定于政治条件。解放了的人民正在以排山倒海之势創造自己的生活，以史无前例的气势使工农业生产向前跃进，科学技术正在全面地向前发展，显示出无穷无尽的智慧。而干扰和抗干扰的問題就是一件斗智的事情。在干扰和抗干扰的問題上，我們就要把我們的智慧在电子計算机的設計和研究中表现出来。

电子計算机在軍事科学中是一項重要的研究，有人說，今后的战爭将是計算机的战爭，这样講是不对的，因为战爭終究是政治的延續，終究离不开人，終究是阶級斗爭的一种表現。計算机是由人来造由人来使用的，它也不过是一种人

使用的武器。可是电子計算机在軍事科学的研究中无疑是很重要的。

电子計算机的設計、制造和研究的发展是非常之快的。涅斯米揚諾夫在“科学与生产”中說过：“快速电子計算机的制造在某种程度上講，是比原子能更有前途的向科学和技术的更高层突破的例子”。这就是說計算机科学的发展，在一定意义上講来比原子能科学的发展还要快。

二、电子計算机活动的基本原理

现代电子計算机是一种很复杂的机器，是一种由电子自动装置組合起来的很复杂的复合体。在机器里要用到許多电子管、半导体元件、阴极射綫管、磁元件、光电管、电阻、电容器以及各种别的无綫电零件。关于电子計算机的构造和它怎样活动的原理牵涉到很复杂的技术問題，牵涉到各方面的专門科学的問題，我們不能在这里詳細講，我們只能在这里作一些很概括很簡单的說明。

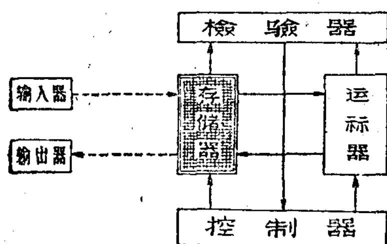


图 2

现代电子計算机主要是由以下几个部分构成的，就是：輸入器、輸出器、存儲器、运算器、控制器（图 2）。

我們要使机器計算时，首先就需要把那些要計算的数字（就是原始数据），由輸入器送到机器里存儲起来。那个存放这些原始数据的地方就叫做存儲器。存儲器我們可以設想它包括成千上万的小匣子，每个小匣子里可以存放一个数目。

它很象一个有許多房間的大旅館。每个房間都編有一个号碼。我們可以按照房間的号碼去寻找住在那里的人。存儲器的小匣子也編有号碼(图 3)，机器就根据小匣子的号碼来选取存儲器中那些小匣中的数目来进行运算。

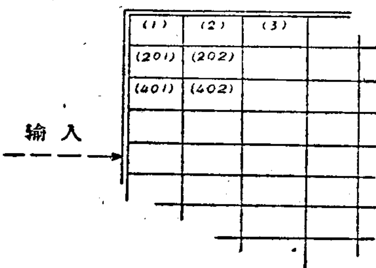


图 3

机器的控制器控制着存儲器和运算器。它要把存儲器里某些小匣中的数目調出来，調到运算器中，控制着运算器进行一定的运算，再把运算的結果送回存儲器中放进某一小匣中去。

电子計算机的計算是不容易出錯的，比起人工計算来出錯率是很小的。可是它究竟还不能絕对不出錯。为了防止計算的錯誤，机器往往装有检驗器，存儲和运算的过程作用着它，在存儲和运算的过程中检驗着所进行过的計算等活动。

运算是經过一定的程序来进行的。例如两个数經过某种运算放到第35号小匣中，經过一定运算的程序之后，第35号小匣中的数又可能調到运算器中去进行别的运算。存儲器中不单存放那些将要用来計算的原始数据，还存放着計算过程中所得的中間結果。計算机在它的活动中，有些在存儲器中的数目不再需要保留而且是最后所要的結果的，就由輸出器把它自动地輸出打在紙上。一方面运算不断地进行，另一方面輸出器不断地把結果打出来。

在存儲器中除了存放着若干个原始数据之外，还存放着对于这些原始数据进行所要求的計算的一套計算程序。一套計算程序是一个系列的所謂指令，每一个指令也是一个数

目。指令也和原始数据一样存放在存儲器中。

我們現在来講一下存放在存儲器中的数目和指令是什么样子的。我們就按照苏联科学院的著名的計算机БЭСМ的系統来講。

БЭСМ和許多別的电子計算机一样，是以二进位系統的記数法来表示数目的。我們来把两种記数法对照一下：

十进位：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，10，11，…

二进位：0，1，10，11，100，101，110，111，1000，1001，1010，1011，…

2^0　2^1　2^2　2^3

十进位：$10^0=1$，$10^1=10$，$10^2=100$，$10^3=1000$，$10^4=10000$，…

二进位：$2^0=1$，$2^1=10$，$2^2=100$，$2^3=1000$，$2^4=10000$，…

十进　二进　十进　二进　十进　二进　十进　二进　十进　二进

十进位：$10^{-1}=\frac{1}{10}=\cdot 1$，$10^{-2}=\frac{1}{10^2}=\cdot 01$，$10^{-3}=\frac{1}{10^3}=\cdot 001$，…

二进位：$2^{-1}=\underbrace{\frac{1}{2}}=\cdot 1$，$2^{-2}=\underbrace{\frac{1}{2^2}}=\cdot 01$，$2^{-3}=\underbrace{\frac{1}{2^3}}=\cdot 001$，…

十进　二进　十进　二进　十进　二进

一个用十进位表示的数目可以写作以下的形式，如

$$3504\cdot 1405=3\times 10^3+5\times 10^2+4\times 10^0+1\times 10^{-1}+4\times 10^{-2}+5\times 10^{-4}$$

一个用二进位表示的数目可以写作以下的形式，如

$$\underbrace{1101\cdot 1101}_{\text{二进}}=\underbrace{2^3+2^2+2^0+2^{-1}+2^{-2}+2^{-4}}_{\text{十进}}$$

用二进位記数法写出一个数字比起用十进位来得长，然而对于机器来說有着很多方便的地方。首先，运算簡单；其次，用物質的状态来表达一个数目很方便。例如，我們有一排椅子，讓某些椅子上坐上一些人，某些椅子空着，以空椅子表示0，以坐着人的椅子表示1，这样就使这排椅子表示一个二进位的数目了。再如，在一张卡片上有一行小格子，我

們在这行小格子上把其中有些小格打上一个小孔，也就可以把这一行格子来表示一个二进位的数字了：有孔的小格当作1，沒有孔的小格当作0就行了(图 4)。

在БЭСМ 計算机中的每一个数，是用39个0或1的碼子来表示的。例如，在一张卡片的小格上打上图4这样一些小孔，这就表示这样一个数

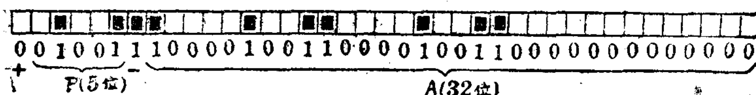


图 4

$N=\pm A\times 2^{\pm P}$,

A和P前面的小格表示A和P的正负号，0表示正，1 表示负。在这里就是$N=-A\times 2^{P}$，A的前面表示有一小数点，A就是二进位的

(1)　　•1000010011000010011

这例子中的P是 9 ，就是要把(1)所表示的数乘上2^{9}。总起来説，也就是要把(1)前面的小数点向右移9位，再加负号，就是

$$N=-100001001.1000010011 \quad (\text{二进})$$
$$=-(2^{8}+2^{3}+1+2^{-1}+2^{-6}+2^{-9}+2^{-10}) \quad (\text{十进})$$
$$=-265\cdot 51\cdots \quad (\text{十进})$$

大家計算一下就可以知道，这样用39个碼子来表示的数目的范围是很广泛的。

一道指令也是用39个0或1的碼子来表示。下面的图 5 就表示一道指令。

一道指令中的39个碼子可以分作四部分。第一部分占六位，例如001000，表示一种运算，就算它表示加，其他三部

分称为三个地址。这一道指令就表示把存儲器中第17号小匣

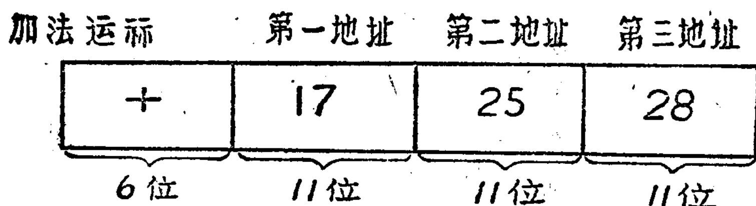
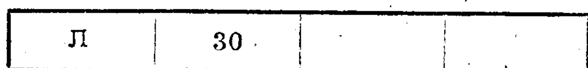


图5

中的数和第25号小匣中的数相加，把結果送到第28号小匣中去。当这样地把結果送到第28号小匣中去的时候，如果第28号小匣中原来存有某一数目，那么就要把放进去的数去代替原来的数，原来的数就消失了。

也有这样的指令，把在存儲器中某一小匣里的数輸出而且印出。例如把第30号小匣中的数目印出就是这样的一个指令(图6)。



把第30号小匣中的数輸出印刷

图6

和上面的指令一样，Π也是一个6位的碼号。也还有别样的指令，例如图7就是一条所謂"条件轉移"的指令。这条指令表示：第22号小匣中的数如小于第413号小匣中的数，那么执行这一道指令的下一道指令，这就是説，如果这一道指令是第十五道，那就应該順序执行第十六道指令；假如第22号小匣中的数大于或等于第413号小匣中的数，那么就不执行下一指令，而跳过去执行第57号小匣中的指令。計算机可以

执行象条件轉移那样的指令，使得計算机的計算具有很大的灵活性。

条件轉移(比較运算)

≥	22	413	57

图 7

現在我們来举一个例子。假如我們要算

$$(ab+c)a=?$$

我們可以将四道适当的指令和 a,b,c 三个数目由輸入器輸入到存儲器的第 1 到第 7 号小匣中(图 8)。当机器顺序地把第一，第二，第三，第四道指令执行完了，$(ab+c)a$ 的值就由机器打印出来了。

現在我們再来講一下計算机器是怎样执行一道指令的(图 9)。

在机器里面，有一道指令被放进指令的存儲部了。我們假定这一道指令就是图 8 中的第一道指令，也就是原来存放在存儲器中第 1 个小匣中的那一道指令。这时表示乘法的运算碼由电子交换器把它变成一个电压通过控制器控制机器中的有关綫路，使机器作好进行乘法运算的准备。那时在指令存儲部中的第一地址的碼号，5，即传到存儲器控制部，这样，存儲器中第 5 个小匣中的数，a，即从存儲器送到运算器中。指令存儲部中的第二地址的碼号，6，就传送到存儲器控制部，存儲器中第 6 个小匣中的数，b，也从存儲器送到运算器中。运算器把 a 和 b 进行乘法运算，那时指令存儲部第三地址的碼号 6 也已送到存儲器控制部了，运算器中的 a，b 的乘积就由运算器送到存儲器中第 6 个小匣中。把这些碼号由一处送到另一处都是由控制器来控制，控制着哪些門应

开、哪些門应关。等到一道指令执行完毕，通常就进入执行第二道指令。这就由控制器控制着指令控制器，使前一指令

小匣号碼	小匣中存放的指令与數据				运算結果
1	×	5	6	6	ab存入第6号小匣
2	+	6	7	6	ab+c存入第6号小匣
3	×	6	5	6	(ab+c)a 存入第6号小匣
4	П	6			把(ab+c)a印出
5	a				
6	b				
7	c				

图 8

的碼号加一(綫路+1)。在我們这个例子的情况下，就把2由指令控制器传到存儲控制部，这样在存儲器中的第2号小匣中的指令|+|6|7|6|就由存儲器传送到指令存儲部。可是在許多情况下执行完一条指令之后不一定执行次一指令，运算可能要先执行其他的指令，那时也由指令控制器把所要执行的指令碼号送到存儲器控制部，选取存儲器中該条指令送到指令存儲部。

在БЭСМ上完成执行每一条指令，約用一万分之一秒鐘时間。

在电子計算机里面用怎样的装置来实現計算的过程呢？为了講得具体一些，我們不妨就单講加法是怎样在計算机里实現的。加法以外的运算，道理和加法差不多，就不再講了。

在計算机的运算器中进行加法的是所謂加法器。加法器

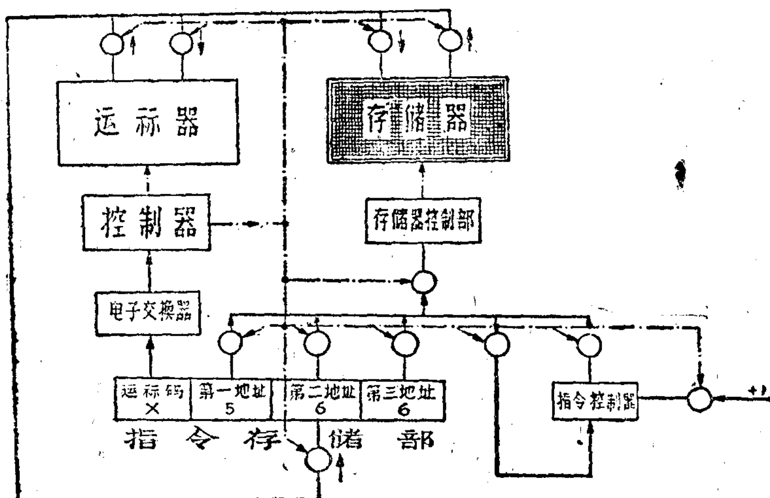


图 9

的活动原則很象我們用一个二进位的算盘来算加法。为了說明計算机中的加法是如何进行的，我們就先来講一下在二进位的算盘上是如何进行加法的。我們知道，如果普通的十进位的算盘只是用来算加法的話，



图10

那么每一档只要能表示到九就够了。二进位的算盘的每一档上只要有一个算珠(图10)，珠在下面表示0，珠在上面表示1。我們要在这样的算盘上做加法，先要把被加数打在算盘上。例如我們要算

$$\begin{array}{r} 1011011 \\ +\quad 10111 \\ \hline ? \end{array} \quad 或 \quad \begin{array}{r} 1011011 \\ +0010111 \\ \hline ? \end{array}$$



图11

我們就先要把被加数 1011011 打在算盘上(图11)，然后把加数 0010111 加上去。在二进位的算盘上进行加法，只要用以下两句口訣就够了，即

逢0上1。
逢1去1，进1。

上一句表示:被加数位上若是0，那么要加上1就是把算珠由下面拨上去。下一句表示:被加数位上若是1，那么加上1就是把档上的算珠拨下来，然后在高一位上加1。这样算得的結果和笔算的結果自然是一样的，都是 1110010 (图12)。

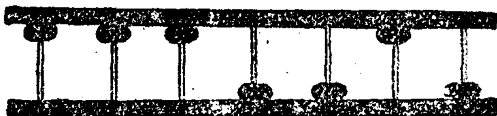


图12

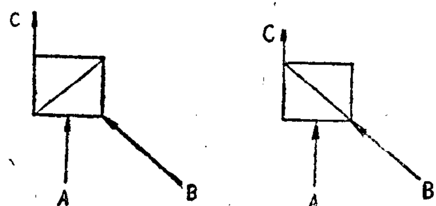
$$\begin{array}{r} 1011011 \\ +\ 0010111 \\ \hline 1110010 \end{array}$$

算草和算盘不同的地方，只是算草是要从右向左写，而算盘則是从左向右或从右向左打都可以。

在电子計算机的加法器上，实现加法和方才講的在二进位的算盘上做加法是很相象的。加法器中要用一种电子計算机的元件，称为反复元件。反复元件可以处在两个稳定状态中的一个状态，一个状态我們可以命为0状态，另一个状态命为1状态。正象一盞电灯，它也可以有两个状态，一个状态是灯不亮，另一状态是亮着。有些电灯的开关是用拉綫的，我們把拉綫开关拉一下，不管电灯是亮着或不亮，总会由一种状态轉为另一种状态。反复元件也类似(图13)，在A的地方我們可以送进一个所謂負脉冲（正象在电灯的开关拉綫上

拉了一下)，反复元件就由一种状态轉为另一种状态了。

在反复元件的右下角还有一輸入綫头 B，左上角有一个輸出綫头 C。当反复元件由0状态轉为1状态时，C 是沒有动静的。可是由1状态轉为0状态时就在 C 处送出負脉冲。当反复元件处在0状态时，若由 B 送进負脉冲，反复元件是不起变化的，因此在 C 处亦无动静；当反复元件处在1状态时，如果由 B 送进負脉冲，反复元件就由1状态轉为0状态了，因此 C 处也就送出負脉冲。



"0状态"的反复元件　"1状态"的反复元件

图13

在加法器里的每一个反复元件就象一个二进位算盘中的一档。我們可以用一定的方法把这些"档"联起来，使它們成为一个自动的"算盘"(图14)，图中每一个反复元件都处在0

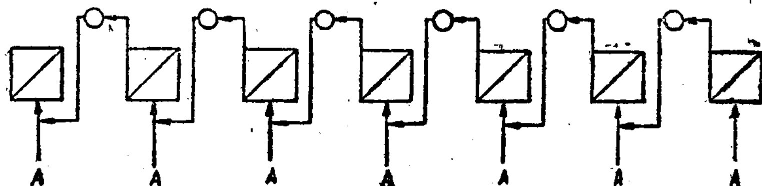


图14

状态，正象图10那样的一个算盘所处的状态，上面沒有打上数字。現在我們要把一个数字打到这一个"算盘"上去，例如我們仍要把1011011打上去，那么我們就要把那些应該是1的"档"使其轉为1状态，也就是在第1第3第4第6第7个反复元件上从 A 处送进一个負脉冲去就行了(图15)。图中加法器

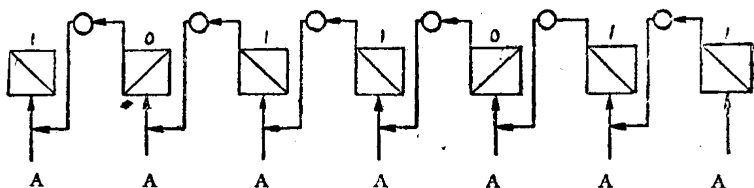


图15

所处的状态相当于图11那一个二进位的算盘所处的状态，上面表示的数目都是1011011。現在被加数已經在加法器上了。我們要把加数再加上去，那么只要把加数再由A处送进去，那些反复元件所处的状态就成为两数的和。为什么会是这样的呢？讓我們先来解释計算机上常用的另一种元件，即图14、15中画在两个反复元件之間的“延迟元件”。延迟元件(图16)的作用是这样：如果有一个脉冲由a处送进去，那么在过了一个单位时間之后，同样的脉冲由b送出。現在我們看，把加数0010111从A处(图15)送进去，也就是从左数过来的第3，5，6，7个反复元件的A处各送进一个負脉冲。結果是怎样呢？反复元件原来是处于0状态的，則由A处送进一个負脉冲(加1)，反复元件即由0状态轉为1状态了，这就相当于执行了二进位算盘上的第一句口訣，即“逢0上1”。假如反复元件原来是处于1状态的，由A送进一个負脉冲，那么反复元件即由1状态轉为0状态，这就执行了二进位算盘上的第二句口訣的前半句，即“逢1去1”。可是第二句口訣还有下半句，即“进1”，加法器也是执行的。我們前面說过，当反复元件由1状态轉为0状态时，左上角的輸出綫头即放出一个負脉冲，这一負脉冲在延迟了一个单位时間之后即被送到高一位



图16

的反复元件中去，这就执行了第二句口訣的下半句，即"进1"。所以，在加法器上进行加法，原則上是和二进位的算盘上进行加法完全一样的。

現在設加数已經加上去了，結果已經得到了（图17。为了清楚起見，各图綫头都有不同的省略）。我們要把結果1110010送出去，例如送到存儲器的某一小匣中，那么我們

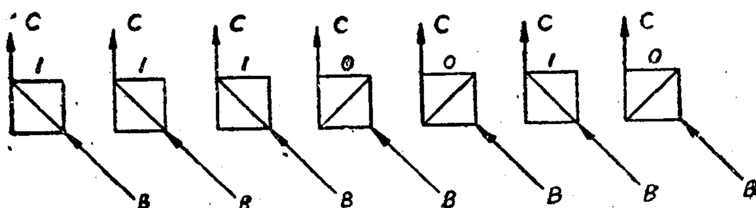


图17

在每一个反复元件的 B 处都送进一个負脉冲。这样一来，正如前面已經講过的，那些处于0状态的反复元件是不作改变的，因之 C 处是无动静的；那些处于1状态的反复元件都轉为0了，而 C 处也随着送出負脉冲。这样做，一方面加法器已被清除干净，又是一张空"算盘"了，同时和数1110010以有負脉冲表示1、沒有負脉冲表示0的形式就被送出来了。

反复元件以至整个加法器都是一种电子装置，脉冲的送进和輸出，反复元件的由一种状态到另一种状态的轉换都是以很快的速度来进行的，例如反复元件的状态的轉换只用0.6微秒（每一微秒是百万分之一秒），正因为它們有这样的速度，所以整个加法过程也用不了多少时間，在БЭСМ上完成一次加法运算还用不到3个微秒（即 $\frac{3}{1,000,000}$ 秒）。

三、和电子計算机有关的一些理論問題

在解决电子計算机的設計、制造中的一系列的問題展开了科学研究，产生出一門新兴的科学：計算技术。在計算技术的发展中提出了深刻的理論問題。这些理論問題是馬克思主义者所不能忽視的。由于研究电子計算机引起的理論的、哲学的問題是很多的，我們在这里只是选择很少几个問題来与讀者討論。

（一）通用电子計算机产生的科学的、技术的前提和它的基本特征

首先，讓我們来提这样一个問題：电子計算机，特别是通用电子計算机是在怎样的科学的、技术的基础上产生出来的？电子計算机产生的理論的、技术的前提是什么？

电子計算机归根結底产生于人类的生产劳动，是人們生产斗爭的工具。

在生产劳动中，人們越来越需要精确地掌握事物的规律，掌握計算事物的量，以至古老的扳手指头的計算不足以滿足要求了。由于这一种情况，一方面，关于量的科学——数学——被发展起来，另一方面計算用的工具被創造出来。

最早出現的計算工具是比較簡单的，象算盘就是一种計算工具。后来，由这种簡单的計算工具的进一步发展，产生了計算机器，象台式手搖計算机，以至台式电动（还不是电子的）計算机。由于生产及科学技术中提出的計算任务的日益繁重，使得这种台式計算机成为某些企业部門、科学研究部門中所不可少的工具了，而且不久就感到速度仍不够快，仍不能滿足大量計算的需要，因此就有更大型的、更为自动化的机械的計算机出現。可是这还不是高速的电子計算机，

电子計算机的产生有待于电子技术的发展。

在20世紀最初时期，电子管(二极管、三极管)已被創造出来。由于无綫电工业及技术的发展使得电子管能够大量生产，这就对大型的通用計算机的产生开辟了道路，为快速通用电子計算机的产生奠定了物質基础。到本世紀40年代，才产生了通用电子数字計算机。

我們知道，計算机里所需要的电子管的性能，远不如无綫电技术中所要求的复杂。可是，为什么电子計算机产生得这样迟呢？特别是通用电子計算机为什么产生得这样迟呢？西方科学家認为"在今天回顧起来是令人詫異的。"（引自布斯："快速电子計算机"一書第13頁，科学出版社。）我們不覚得这是很可詫異的。在本世紀的40年代之前，尽管人們已經用各种方法与使用各种机器在进行計算，可是人們在对"計算"的科学研究中还沒有形成"計算机"及"通用計算机"的明确的概念。因之，在20世紀的20年代时，产生通用計算机的物質条件虽然已經具备，但还沒有完全成熟，那么它是怎样产生的呢？我們說明以下两点：

第一、在第一架通用电子計算机出世之前，历史上就已經有了"通用計算机"的观念了。"通用計算机"的观念是由两个人独立地建立起来的。第一个人是巴貝及(Charles Babbage)。他在一百多年以前的1833年就有了这样的思想。可是巴貝及的工作对于現代通用电子計算机的設計和制造并沒有直接的影响，因为現代通用电子計算机的設計者，并不是在研究了巴貝及的工作而后才开始他們的設計的。巴貝及是在产生了通用电子計算机之后，从历史上追溯出来的人物，而且他对于"通用"的概念也不是很清楚的。对于通用电子計算机的产生有重要影响的是一个英国著名的数理邏輯学家图灵

(A.M.Turing)❶。他为了研究数理邏輯中的一个带有根本性的中心問題(叫做能行性問題，我們在下面还要講到)，曾經在1936年写的一篇論文“論可算的数和它在判定問題上的应用”❷中提出了在邏輯上完全清楚的“通用計算机”的概念。首先，图灵在他的文章中定义了“計算机”的概念，現在数理邏輯学者就称他所定义的机器为图灵机器。然后，图灵在他的文章中定义了“通用計算机”的概念，并清楚地說明了在这样的通用計算机上能够进行一切其他图灵机器所能够进行的一切运算，即使在那些比起通用計算机要复杂得很多的那些图灵机器上所能进行的运算，在通用計算机上也都能够进行。在数理邏輯的研究中显示出通用計算机的邏輯的可能性，提出了有可能实现的理想的机器(虽然很粗略)，这就为通用計算机的产生在物質基础之外又提供了理論基础。

第二、有一些数学家、数理邏輯学家直接参与了計算机的工作，他們在熟悉了原来不是通用的計算机之后开始了通用計算机的設計工作。在第一架通用計算机出世之前，由于要迅速編制大量弹道方面的計算表，造出了一架专用的电子計算机。这架机器称为“电子数值积分机与自动計算机”。这架机器本来是为計算弹道表而制造出来的，可是不久人們发現在这架机器上可以計算許多別的一般性的計算，象求偏微分方程(近似)数值解那种計算。它虽然不是通用机，但已經初步具备了通用机的性質了。在这一架机器的設計以至使用过程中，数学家、数理邏輯学家馮·諾意曼及数理邏輯学家貝克

❶ 图灵本人在1945年后为一个計算机研究工作的領导者。他于1945年在伦敦的国家物理实驗室中領导了計算机ACE的設計。

❷ “論可算的数和它在判定問題上的应用”的原名为On computable numbers,with an application to the Entscheidungs problem。載Pro. London Math. Soc. Ser. 2,vol, 42. 1936—37。

斯等人参加了工作。他們研究了他們認为好的机器应有怎样的邏輯結构，如存儲器应当多大等問題。由馮·諾意曼的倡議，于1941年开始有意識地設計了第一架通用电子計算机EDVAC❶。馮·諾意曼在設計EDVAC的同时，也曾和貝克斯等人共同写出了关于計算机的設計的著作，初步奠定了电子計算机的邏輯設計的基础。所謂邏輯設計是指計算机中应采用什么計算系統，包括哪些运算，存儲量有多大，机器有哪些性能，使用哪些机器元件等，也就是根据机器的要求和技术上許可的条件来把机器具体地設計出来。

在通用計算机的产生过程中，数理邏輯的研究，可以說是在物質基础具备的前提下起了一定的催生作用。当然，光有"通用計算机"那样的邏輯概念，而沒有生产发展的要求成熟的技术的条件，通用电子計算机还是不会产生的。

从上面的討論可以得到这样的結論：生产、技术的发展，为通用电子計算机的产生奠定了物質基础；数理邏輯的研究，为通用計算机的产生奠定了理論基础。最后由于数学家、数理邏輯学家直接参与了計算机的工作，熟悉了机器，从此开始了通用計算机的邏輯設計与制造。現在我們来回答这样一个問題：图灵所研究的数理邏輯的中心問題是怎样的問題？他为什么要建立"通用計算机"的概念？这一个問題的回答密切联系着通用电子計算机的基本特征。

数理邏輯的中心問題是能行性問題。現在讓我們来对"能行性"概念作一些說明。

能行不能行是用来形容一种过程的。但是，我們也可以把能行不能行来形容一种手續或一种运算，就是說这种手續

❶EDVAC是英文Electronic Discrete Variable Automatic Computer的縮写，意思是电子离散变量自动計算机。

的过程或运算的过程是能行的或不能行的。我們說一种过程是能行的，就是說每一个这样的过程都可以按照一定的办法以一定的步驟来完成。稍为詳細一点說：一种过程是能行的，假如能够为它建立一个系列的規則，使得每一个这样的过程的每一步都可以按照这一系列的規則来完成，第一步按規則唯一地确定了，第二步按規則也是唯一地确定的，一直下去到一定的时候这过程按規則完成了，过程中的每一步都是确定的，就是每一步由过程中已經完成的各步，唯一地按規則而确定的，而且每一步根据哪些規則也是确定的。这样地为那能行的过程建立的一个系列的規則，我們可以称之为一个算法，一个算法中的規則就是这样去决定能行过程中的每一步的。

例如，加法的运算或加法的运算过程是能行的；再如若干个正整数的小公倍或大公約的寻求也是能行的。由英文到俄文的科学文章的翻譯看起来也应当是能行的。

数理邏輯为什么以能行性問題作为研究的中心問題呢？这就要涉及数理邏輯是怎样的一門科学的問題了。数理邏輯是从量的側面去研究思維的邏輯規律的一門科学，也就是从量的側面去研究前提和結論之間的邏輯关系的科学。所謂从量的側面去研究，就是說，在数理邏輯中，为了使邏輯的研究成为客观的研究，要把命題表达为一定的符号的排列，因此也可以把命題的邏輯結构以符号排列的結构来表达，而命題和命題之間的邏輯关系即轉化为符号排列的結构关系了。这是一种对于思維邏輯的量的抽象，經过这种抽象就有可能使得我們对于思維的邏輯規律很精确地陈述出来，而对它們进行精确的数学的处理，使邏輯的研究成为严格的客观的研究。

数理邏輯要求我們严格地徹底地掌握推理和証明的规律。这就促使我們去研究这样的問題：把若干个命題确定下来作为我們推論的前提，我們要求建立一个系列的規則，使得我們对于一类命題中每一个命題都能够按照一定的办法，来决定它是否可以从这些前提中推演出来。假如我們对于这样一些前提能够建立这样一个系列的规則，那么我們就严格而徹底地掌握了以这些命題为前提的邏輯推理的規律。因为，我們要是建立了这样的一系列的規則（也就是建立了一个算法），我們就可以按照一定的办法来进行我們的推理，来实現我們所要做的推理过程。显然，研究这样的問題也就是研究推理过程的能行性問題。

上面我們对于"能行性"的解釋是直覺的。我們只是为了便于說明問題而这样直覺地講的。在数理邏輯中为了要对能行性問題作严格的科学研究，要对"能行性"作进一步的精确的定义，在不同的具体的理論的研究中来接触这一中心問題。这种具体的理論研究主要有：递归函数，λ轉換演算，算法論（这是苏联的著名数理邏輯学家 A.A.Марков 所建立的）以及上面提到的图灵的計算机理論等。在这里，对于这些理論不作詳細的介紹。

在这些不同的具体的理論的研究中都对直覺中清楚的"能行性"从不同的角度，以不同的形式来对它作了严格的規定。經过严格的科学研究已經証明了，以不同形式来規定的"能行性"是等价的，也就是說所規定的本質上完全是一回事。图灵是怎样来定义能行性的呢？他就是先严格地定义了"計算机"，他的"計算机"在邏輯上是完全清楚的，只不过在他作这样定义的时候还不曾有过象他所定义那样的机器罢了，然后他定义能行性，就是如果能够以这样的机器来实現

的过程是能行的。图灵在他文章中定义了"通用計算机"之后，就可以这样說：所謂能行的过程就是那些可以用通用計算机来实現的过程。

現在，我們已經可以清楚地說明通用电子計算机的基本特征了。通用电子計算机就是能够实現一切能行过程的电子技术装置。

我們从历史的事实与从理論上說明了数理邏輯的研究为現代万能电子計算机的产生作好了一定的理論的准备。

(二)电子計算机和高級神經系統的活动

电子計算机和高級神經系統的关系問題，是在一門新兴的科学控制論中提出来的。在控制論的基础上来講这一个問題，在苏联索保列夫院士和其他两位同志合写的一篇文章"控制論的若干基本特征"❶的第二部分里有很好的討論。从控制論的角度来討論这一問題，我們不能講出更多的东西了。在这里我們只想主要从邏輯学的角度来講一些看法。

我們可以肯定地說，通用电子計算机的活动和人的高級神經系統的活动，特别是人的思維活动是有某些共同之处的。計算是一种思維活动，翻譯是一种思維活动，下棋是一种思維活动，許多这样的思維活动的过程都可以用机器来实現。人的某些推理过程也可以用机器来实現，机器可以代替我們进行某些推理。要是計算机的活动和人脑的思維活动之間沒有某些共同之处，它怎么能够实現这些过程呢？怎么能够靠計算机的帮助节省人的大量的脑力劳动呢？

計算机确实能够做那些原来是要用人脑来做的許多事情，只要是能够用电子計算机来做的，它就能够做得既快又好。

---

❶ "控制論的若干基本特征"的譯文，載科学通报1955年12月号。

說到这里，也許有人会問，电子計算机能不能代替人們的脑子呢？有些資产阶級的学者，認为是可以代替的。但是，我們却認为不能代替，因为下面两点是沒有人能够否認的：

（1）計算机不能代替人脑的一切活动，正象机器不能代替一切人手的活动一样。

（2）有了計算机人脑并不能因此废除，就象有了机器人手的劳动不能废除一样。有了机器非但不能废除人，反而提高了人手劳动的素質，手要做更高級的、更需要技巧的、关系更重大的活动。有了电子計算机也是一样，非但不会废止人脑，反而要使人脑进行更高級的、关系更为重大的思維活动。

現在我們来問，哪一些人类的思維活动，特别是邏輯的思維活动是可以由計算机来实現的？

索保列夫在他的文章中說：电子計算机“……能够扩大人类大脑的可能性，使人类大脑不必去从事一些最原始的、千篇一律的思維形式，如进行計算工作，进行形式邏輯的思考和証明，……”等。索保列夫的这一段話是正确的，可是不能把电子計算机能够“进行形式邏輯的思考和証明”理解为电子計算机可以进行一切的形式邏輯的思考和証明。我們就拿科学中的定理的邏輯的証明如数学中的証明来看。例如，在数学中有一条定理被証明了，它是用了若干句話来証明的，如

（1）——

（2）——

（3）——

…………

…………

(k)——

我們給这些話(即命題)編上(1),(2),(3),……以至(k)等号碼,(1),(2),(3),……,(k)就組成了一个数学的証明。由一个証明建立一个数学定理。这証明中的每一个命題,都是这証明中的一步,它或者是一个已經知道的事实,或者是从它前面的根据形式邏輯的規則可以直接得到的。这个証明要是沒有錯誤,那么最后那一个命題就是我們所要証明的定理了,定理也就借这样一个証明而成立了。这是一种形式邏輯的思維过程,往往是創造性的思維过程的邏輯的再現。我們問,象这样的証明的过程是全可以用电子計算机来实現的嗎?回答是并不是完全可以的。因为象这样一种証明,虽然每一步都是按照一定的邏輯規則来进行的,可是,哪一步用哪一条邏輯規則呢?并不一定是事先确定的。这也就是說形式邏輯的証明和思考过程并不全是能行的,而电子計算机只能完成那些能行的过程。所以,一般的数学的証明不能够、而且永远也不能够完全由計算机来实現。这也就是說,不可能有这样一天,使得所有的形式邏輯的推理过程全由电子計算机来做。要想做这种不可能的事情,正象要用圓規和直尺来做三等分角一样是不可能的。

另一方面,确实有許許多多形式邏輯的推理,許許多多数学証明,許許多多思維过程是可以用机器来实現的,这就是那些能行的思維过程。只要一种思維过程是有可能轉換为一种能行的过程的,就可以用电子計算机来实現。

許多人听說通用电子計算机的“本領”很大,好象只要有了这样的机器,一有問題就可以送去請它解决,实际上并不是这样簡单。在使机器为我們“工作”之前,我們先要进行巨

大的工作。例如要使机器进行由俄文到中文的翻譯，我們就要为俄文到中文的翻譯建立一个系列的規則，使得翻譯的过程成为一种能行的过程。这种工作是要在語言学家和数学家的創造性的合作之下才能取得胜利。再例如要使机器代替我們作数学証明，那就是要把某一类的数学命题的証明过程轉換为能行的过程，这又是数理邏輯研究中的很复杂的問題。

电子計算机的設計、制造和应用都涉及很多的科学領域，包括各种基础科学。要是离开了其他科学，我們可以說电子計算机的研究一步也不能前进。

（三）电子計算机在科学方法論方面的意义

人类的思維活动，按照我們前面的討論，可以大致分为两种，就是能行的思維活动和非能行的思維活动。能行的包括平常可以叫做机械的活动。但是，能行的思維活动是大大地超过通常所說的所謂机械的活动。例如，翻譯和下棋那样的活动，我們通常总不能說它們是机械的。能行的思維活动范围是很广泛的。非能行的思維活动按照馬克思主义的科学唯物主义的观点来說，是一种更为高級的辯証的思維，这种思維的邏輯就是辯証的邏輯，是具有高度創造性的思維邏輯。这种思維活动是对事物有洞察力的思維活动，是能够发現事物的本質，发現事物发展的趋势和規律的思維活动，可是在人的日常生活中，在人的社会生活包括科学生活中，却需要进行极其繁重的，极其大量的那种能行的思維活动。这种大量而繁重的能行的思維活动也是很重要的，少了它是不行的。对于一般人来說，这种能行的思維活动占了人的絕大部分的思維时間和精力，在一般人的头脑中，那种非能行的高度創造性的辯証的思維活动，却往往在大量的繁重的能行的思維的大海中淹沒着。大量的繁重的能行的思維不但淹沒

着而且还排挤着那种高度創造性的，非能行的辯証的思維。我們每天每时都在无休止地进行着大量的能行的思維活动，如买米买肉的算帐、記帐、会計、統計、抄写、开电車、开汽車、操縱机器、翻譯、校对、整理資料、选择資料以至下棋打桥牌等等，多得简直是数不尽說不清。

电子計算机发展下去，它的性能将会大大地提高。光拿电子計算机的速度来說，比我們前面所說的增加一百倍已不是什么理想了，而是不久就可能实現的事情。电子計算机的研究結果将会創制出适用于各种不同用途的所謂专用的計算机。电子計算机又将大量地生产，使我們在人类各方面的生活中都能够广泛使用，而成为我們在日常生活中、社会生活中，特别是科学研究和生产中不可缺少的工具。这样就大大地节省了我們的思維劳动。本来，我們的思維是为大量的能行的思維活动所"束縛"的，等到电子計算机在人类生活中广泛使用之后，我們的思維就可从这种大量的繁重的能行的思維劳动中解放出来。这意味着什么呢？从馬克思主义思想方法論的角度来看，这就意味着我們所特别重視的辯証的思維从能行的思維的掩盖下面显露出来。于是，辯証的思維将更多更經常地成为我們思維的主要方式，而且将更多、更經常地占据我們的脑子。我們的洞察能力，我們在劳动中的創造作用将得到无比的提高。

正象望远鏡和显微鏡扩大了人的視野，而使人們有可能看到本来无法看到的景象，电子計算机把人的能行的思維能力，予以在很大程度上的加强和扩大，以至使人本来根本无法思考的問題也能够思考。它虽然只能够节省我們的能行的思維(这并不是什么缺点)，可是它却給我們的高度創造性的思維提供了极其充分的根据和大量的資料，要是我們不用电

子計算机，这些資料就根本不能得到。电子計算机是人类思維的极为有力的工具，它是人的思維的望远鏡和显微鏡。这种工具在生产及科学研究中，有着广泛应用的可能性。它在科学研究中的广泛应用，将大大地开辟科学研究的新方向，而得到以前不可能得到的結果。正象显微鏡的使用，开辟了生物学研究的新方向，以至建立了新的科学領域，如組織学、細胞学、細菌学等。电子計算机应該在很大的程度上促进科学的发展，开辟出我們祖先无法梦想的科学領域来。馬克思主义者根据电子計算机这一新的科学部門的性質和特点，預見由于电子計算机的发展而开辟新的科学研究方向和領域，是一項責无旁貸的重要任务。

电子計算机对于人的思想方法的影响是很巨大的，它在科学方法論方面的意义也是很巨大的。

半导体和它的应用

黃 昆

在飞跃发展的現代科学技术中，半导体技术占据着最前列的位置。利用半导体做成的簡单、結实和輕巧的制件，不但可以代替各式各样的精密仪器，以至于庞大的机器設备，还可以做到許多任何仪器和机器所做不到的事。我們要在电訊、电工、广播事业、生产自动化等国民經济部門，以及在現代化国防建設中，发展最先进的科学技术，就离不开半导体的利用。半导体在这些部門中的利用往往預示着在技术上广泛和革命性的进展。

在这里，讓我們首先認識一下什么叫做半导体。

在近代物理学中，我們按照传电能力的强弱，把物体划分成为三类，那就是：导体，絕緣体和半导体。

在日常生活中，导体和絕緣体是我們所熟悉的，因为要利用电就需要这两种材料。利用电力的一个主要好处，就在于传送能量容易，这就是說，能够在电綫里迅速地传送能量。电綫就是导体做的。金属的东西，例如金、銀、銅、鉄、鋁等都是导体。电力的利用除了需要导体，也还需要絕緣体。絕緣体是差不多完全不传电的物体，例如瓷、橡皮、胶木等。只有利用絕緣体才能防止把电传送到我們不需要的地方去，造成損失和危险。电綫杆上的瓷瓶，就是用来防止电流传到地上去的絕緣体。

半导体是传电能力介于导体和絕緣体中間的物体。由于

导体和絕緣体的传电能力相差在亿亿倍以上，所以在半导体这个名詞之下，包含着十分广泛的材料。虽然在元素中間絕大部分是金属导体，只有少数是半导体，但是，在我們周圍自然界中，大部分的矿石却都属于半导体的范围。所以半导体不是稀有的东西，只是在过去人們不熟悉他們如硅、锗、硒几种元素都是很重要的半导体；在化合物中間很多硫化物和氧化物也都是有用的半导体，最普通而又直接可以利用的一种半导体，要算矿石收音机中的方鉛矿(硫化鉛)了。由于这些物体传电也不好，絕緣也不好，所以在很长的时期中，并沒有象导体和絕緣体那样受到重視。半导体的科学技术发展到今天这样的重要，有着一段过程，下面簡单地加以介紹。

一、半导体科学的发展

在1920年以前的几十年中，已經对半导体进行了一些研究工作，并且在个别的半导体上，发現过一些特殊的現象，但当时只有一个方面得到了利用，就是在矿石收音机里面所利用的矿石。我們知道，无論在无綫电通訊或是广播中，都是依靠无綫电波传播訊号来的。但是，由于无綫电波振动得十分快，它不能在收音机中直接引起可以听見的声音或其他的机械振动，好象轉动得很快的輪子，就不能在我們的眼睛里引起清楚的映象一样。半导体矿石的效能，就是把变化太快的无綫电波轉变成为最后可以带动耳机或喇叭发出声音的电流。矿石所起的这种作用，在无綫电里就叫做检波。

在无綫电技术发展的初期，用半导体来检波很快地就被真空管所代替了。然而1930年的前后，半导体的另外两种比較广泛的应用又发展了起来。

其中的一种应用，就是利用半导体把交流电轉变成为直

流电。发电厂一般都供应交流电，就是发出来的电，在电綫中不是总朝一个方向流，而是經常有規則地反复，时而正流，时而反流。应用交流电主要是为了发电和輸送电力的經济和方便，但是在科学器械上和在生产上，有时都必須用直流电(就是只朝着一个方向流动的电)，例如在化学工业方面，电解和电鍍等，都需要很大量的直流电。因此就需要有一种器件能把交流电轉变成为直流电，这种器件叫做整流器。当时就发現了用半导体可以做成結构簡单、使用方便的整流器。但是那时候制造出来的半导体的整流器，还只能用在电力比較小的情况下。

另外的一种应用便是把半导体制成光电池。在有些半导体的表面，如做成一层薄薄透光的金属，再用光照到这层金属上，結果就发現它能够产生电流，好象一个电池一样。光照多久，电流就可以繼續多久。象这样的一个东西，我們叫它做半导体光电池。平常照象时用来测定光照强弱的曝光表中，就是装了一个半导体光电池。

在相当广泛地应用半导体整流器和半导体光电池的同时，近代物理学关于物質結构的理論有了很重大的发展，这样就对半导体进行了比以前更为系統的科学研究，并且逐渐地形成了对于半导体物理原理方面的初步基础。

第二次世界大战期間，为了发展雷达，好几个国家都进行了大量的研究工作，結果发現在雷达的检波問題中，依靠真空管不能得到很好的解决。問題的最后解决可以說又回到了初期矿石机里的矿石上面来了。但是，雷达所用的检波器究竟和初期的矿石还是有着根本的差别。雷达中所用的半导体已經不是天然的矿石，而是用高度精密技术所做成的材料；在装置上也远远不是矿石检波器那样簡单和粗糙的东西

所能比拟了。同时在引用原理方面也有了根本性的发展。

在发展雷达检波器的过程中所进行的大量科学工作，不但使半导体科学大大地提高了一步，而且也吸引了更多的人来从事于有关半导体的研究工作。

最近期間，半导体科学技术又有了特别重大的发展。这发展可以說是从1948年开始的。在这一年中，有了一个很重要的发現，那就是利用很細小的一块半导体，适当地按上几个电接头，就能够代替基本类型的真空管(三极管)。这个发現在科学技术方面立即引起很大的注意。从那时候起直到目前，所有科学比較发展的国家，都以愈来愈大的科学技术力量投入半导体的研究。到現在，用半导体可以代替真空管的理想已經实現。不仅完全由半导体代替真空管的收音机能够大量生产，而且也能够完全采用半导体制造以前要用几千个真空管的电子計算机。在这时期中，半导体的理論以及半导体在其他方面的实际利用，也都相应地有了很大的发展。在这个年青的科学技术部門展示出无比广闊的前景。

二、半导体的特点

現在先从原理方面，簡单地介紹一下半导体的特性。

金属导体所以有很好的导电能力，是靠着金属导体里面有很多电子可以自由地来往运动。平常我們說有电通过电綫，或是說电綫中有了电流，实际上所指的，就是銅綫之中有很大数目的电子朝一边移动。所以，要使物体导电，首先就要物体中有这些能够自由往来的电子。

我們知道，平常的物体都是由原子結合成功的。每一个原子除去中間的原子核，就是周围的一些电子。金属导体的特点在于原子結合成为导体时，許多电子都不再束縛在一定

的原子上，而能够相当自由地在各原子之間运动。这就是导体中电子能起导电作用的原因。

半导体和絕緣体就和导体不同：虽然每个原子也有很多电子，但是它們都束縛在这些原子上，不能自由离开，因此这些电子也不能起导电作用。

不过，在平常的情况下，半导体甚至絕緣体里面也不是完全沒有自由电子的。因为物体里面的原子虽然有一定的位置，但并不是完全不动的，而是不断地在这位置附近很快地往复振动。物体有冷热的区别，就是因为原子有这样的运动。原子运动愈强，我們接触时就感覺愈热。所以原子的这种运动就称为热运动。半导体和絕緣体里面的电子虽然不能自动摆脱原子的束縛，但是由于热运动的刺激，就使有些原子中的电子释放出来而成为自由的电子。半导体和絕緣体中間的区别，就在于半导体中电子束縛得比較松，所以放出的自由电子較多，它們能够起一定的导电作用；而在絕緣体中，电子束縛得更牢固，热运动的刺激只放出很少的电子，它們导电的作用小到实际上可以忽略的程度。

半导体能够有多方面的利用，原因在于：一方面，自由电子为数不算很多；另一方面，束縛在原子上面的电子，在受到刺激时还能比較容易地放出来轉变成为自由电子。由于这两种原因，就形成了半导体的主要特点，这就是在外界的影响之下，它的电子数目容易改变，加以它原来的自由电子少，所以外界的影响能使它的性質具有显著的变化（譬如导电能力的变化）。許多半导体的重要性質，都直接跟这一个特点有着密切的联系。

半导体的性質容易变化，也表現在所謂杂質的問題上。鍺是一种元素，它是在实际应用上非常重要的一种半导体。

現在就用鍺作例子來說明这个問題。一块完全純凈的鍺，它里面就应当清一色地都是完全相同的鍺原子，如果里面摻了一些别的种类的原子，譬如銅原子，那么这銅原子就是杂質。这种杂質原子上的电子往往比半导体本身的电子容易释放。因而常常有这样的情况，一个半导体只有很少的杂質，然而里面的自由电子大部分倒是从杂質原子放出来的。由于这种緣故，很少量的杂質对于一个半导体的性質，有着决定性的影响。

为什么特别要提出杂質的問題呢？因为它和实际利用半导体有很大的关系。杂質能影响半导体的性質，使我們能利用不同数量和不同性質的杂質，来得到有各种不同性質的半导体。实际上这是我們能够多方面利用半导体的一个重要条件。但是，在另一方面，在技术上杂質常常带来不小的困难，半导体的利用常常要求高度精密的技术。举个例来說，要能作出代替真空管的半导体，就需要把杂質控制到千万分之一以下，也就是說平均在一千万个原子中，杂質原子不能超过一个。对于純度有这么高的要求，这是在过去科学工作中所沒有的；在一般的工作中，杂質少于千分之一常常就認为是十分純凈的了。正是由于对材料的这种高度要求，半导体材料的提取和制备，就成为我們发展半导体技术中首先必須很好解决的一个重大問題。譬如，要发展半导体在无綫电电子学中的利用，就必須能大量地生产高度純凈的、結构完整的鍺和硅。另外还需要用来当做杂質的許多种类元素材料，也都必須有很高的純度。

三、半导体导电能力的变化

热和光都可以引起半导体导电能力的显著变化，这类变

化是半导体一系列应用的根据。

既然半导体中的自由电子是由热运动的刺激所放出来的，那么温度提高，热运动加强，自由电子的数目就会增加，因之半导体导电能力也就会相应的提高。半导体导电能力随温度的变化是十分显著的。半导体温度改变几度，所引起半导体导电能力的变化，可以抵得上金属导体温度改变几百度的效果。

由于近代电学的測量技术十分精密，所以，利用上述的性質可以用来精确地測量溫度。只要在半导体中通了电流，溫度的改变就可以从电流的变化上用电学仪表度量出来。用这样的办法測量溫度比以前最精确的溫度計还精确10倍以上。有人利用它查覺到半公里以外人体所发生的热。

利用半导体做的溫度計另有一个特点，就是可以做得十分細小，譬如用两根很細的白金絲中間夹一个百分之一厘米大小的半导体珠就是一个溫度計了。由于这种緣故，用半导体溫度計能够解决过去科学上不能解决的問題。例如，測量很小的东西的溫度，或是变化很快的溫度。現在已經用半导体溫度計来測量植物的叶子或茎上的溫度，用来測量气流的溫度，所有这些都是用普通溫度計所办不到的。

此外，还由于利用半导体溫度計是从由电流的变化察出溫度的变化的，因此，可以讓电流沿着电綫传出去，而造成远程控制的条件。

凡是利用半导体来反映溫度变化的器件，我們統称之为热敏电阻。

除去直接度量溫度以外，半导体热敏电阻还另有一个广泛和重要的应用領域。我們知道通过物体的电流的大小直接影响着它的溫度，电流愈大就会把半导体烧得愈热；这样就

把电流大小的变化和半导体传电能力的变化联系了起来。利用这个原理现在已經能够制成具有各种特殊电学性能的热敏电阻，用在电工、电訊、自动化机械各方面，这些半导体可以起各种自动調节和自动控制的作用。

用个最簡单的例子說明，設想在一个传电系統里，我們不希望通过其中某一段甲的电流不超过一定的量，就可以在旁边加一个热敏电阻，使一部分进来的电流从它中間通过。如果进来的电流加大了，热敏电阻传电能力加强，就可以使电流中更多的部分从热敏电阻中間通过。热敏电阻做得合适就可以保持通过甲的电流不超过一定值，多余的电流都从热敏电阻中間通过去。再說，热敏电阻的控制可以是定时的。因为烧热热敏电阻需要一段时間，就是說电流变化以后，热敏电阻要等一定时間后才改变导电的能力，按照制造的办法不同，可以使这段时間或长或短。試用最簡单的情形說明这种定时的控制：譬如說通电以后，可以使一个电鈴隔了一定的时間再发响。利用了这个定时的原理，就可以使一个传电系統的調节作用按着一定的顺序，自动地发生。

总之，实践証明，利用热敏电阻的方式几乎是无穷无尽的。用它不但可以在各种条件下量测溫度，是一种最可能的溫度計，而且还可以用它来解决其他各式各样的量测和控制問題。好象热的刺激一样，光的刺激也可以使半导体中的束縛电子轉变成为自由电子。这就是說，光照也可以提高半导体的导电能力。所以利用半导体也可以用电学的方法去度量光照的强弱。在半导体中通了电流，光照改变半导体的导电能力，也改变了电流；这电流的变化就可以由电流表度量出来。

利用半导体反映光的强弱的器件平常叫做光敏电阻。

半导体光敏电阻不但能覺察很微弱的光，可以度量眼睛看得見的光，而且利用各种半导体，还可以度量各种看不見的光，包括X光，紫外光，紅外光。因此借助了光敏电阻，我們可以看到眼睛不能看見的各种光，而且可以量度它們的强弱。

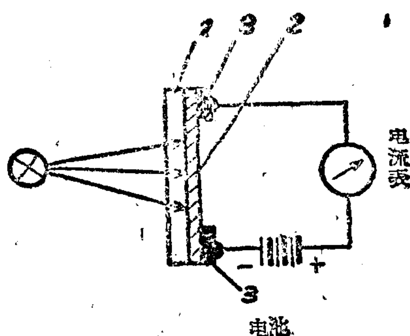


图1 光敏电阻示意图:
1.玻璃板; 2.半导体; 3.金屬接头。

凡是热的物体都不断地放出紅外光来，因此利用了光敏电阻，在黑夜里就可以偵察，例如汽車、軍艦飞机等物。由于用光敏电阻可以覺察紅外光，这样就可以利用紅外光綫传递訊号，和无綫电相比，有避免被人截获和干扰的好处。这两方面說明了，对紅外光綫灵敏的光敏电阻在建設現代化国防中，可能具有的意义。

光敏电阻还可以用到各种各样的机械自动化装置上，基本的道理就是光照的影响通过光敏电阻轉为电的变化，这种电的变化可以很方便地控制机器的操作；譬如，一道光照在光敏电阻上时，机器可以停止，光被截断时就可以使机器开动。这个办法用在机器的流水綫上，就使得各台机器自动地开启动和停止操作。

除去热和光以外，放射性物質的射綫，无論是高速的粒子或是光子，也都能释放半导体中的束縛电子。特别是由于所释放的电子具有很大的速度，碰到其他的原子还能再放出束縛电子，所以一个高速的粒子进入半导体，就可以用这样

的倍加的方式，很快地产生很多的自由电子。因此，还可以利用半导体来探测快速粒子，和度量粒子的数目。这是原子能科学技术中的一种新工具。

四、利用半导体发电

利用半导体供給电能的科学研究，虽还不很成熟，但是我們已看出这是一个具有重要意义的发展方向。

我們知道，电力是一种能量，它不能无中生有，而必須取自四周的自然界。在火力发电中，我們首先由煤經过燃燒得到热能，然后再由热能轉变为电能。目前由热到电这一个轉变是靠了蒸汽鍋爐、透平机、发电机等构造相当复杂又很庞大的机器来完成的。但是在半导体里面，热能可以直接而簡单的轉变为电能。基本的道理是很簡单的，如把半导体某一部分燒热，那么这一部分自由电子的数目就要比其他部分更多，而且它們的运动也更强，其結果便是自由电子要从热的部分向其它部分散开，象前面所講过的，这样的电子移动就是电流。这里完全不需要复杂的机器部件就达到了由热轉变为电的目的。

目前虽然在利用半导体发电方面只能得到很小的电力，但是也已經具有了实际的利用价值了。最近我国已經开始生产小型发电器，利用油灯或是沼气发的热可以供給一般收音机的用电。

今天已經利用的电力来源，除去燃料还有水力和原子能。其实，另外还存在一个很明显的来源，那就是太阳能。这是一个很不小的能量来源，但是目前还沒有很有效的方法来利用。正午照在每平方米上的太阳光等于一瓩的电力，比一馬力还多。一家人的屋頂上所受的阳光比日常生活所需的电

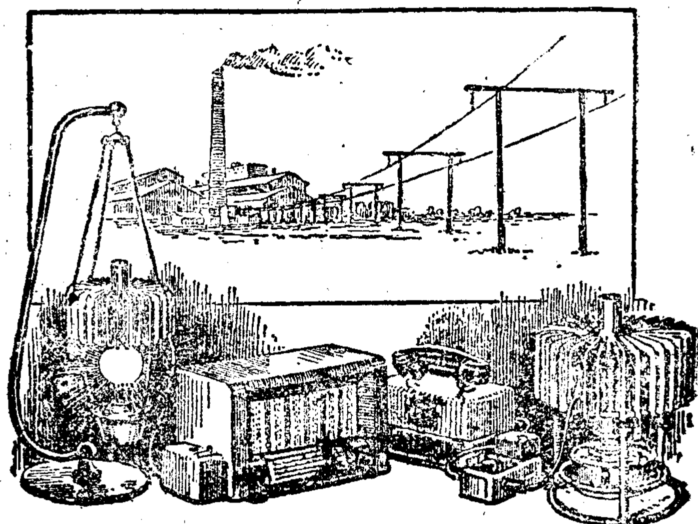


图 2　带有半导体散热器的煤油灯(图左)，用它的热来产生电，可供一个直流收音机使用。另外也有用气爐燒的較大功率的发电机(图右)，它可供农場中无綫电通訊使用。将来每个工厂的烟囱上，也可以应用同样的原理，装置自己的发电站（上图原載知識就是力量）。

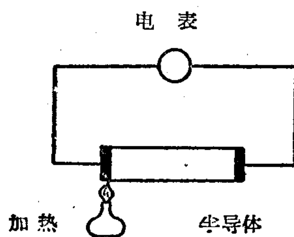


图 3　热电轉換示意图。

力大几百倍，如果能够将这些日光能变为动力很可以开动一台拖拉机。

用半导体可以使太阳能直接轉变为电能。事实上，前面講到的半导体光电池就有这样的作用。太阳光照在光电池上，直接就产生出电流。現在一平方米上充足的阳光就可以产生 100 瓦的电，效率已經达到了10%。

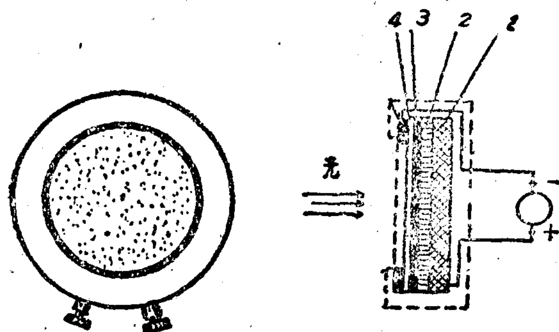


图4 光电池示意图:
1.金属底版; 2、3 两种不同类型的半导体; 4. 可透光的金属薄膜。

用这种日光电池已經可以解决在一些特殊情况下的供电問題。例如,苏联发射的第三个人造卫星就利用了半导体日光电池。目前还不能用这样的办法产生大量的电力,这是由于制造工艺要求很高,所以成本十分高。我們可以想象,一旦能以更簡单的方法制造日光电池,那么阳光就有可能成为几乎沒有代价的、无穷无尽的电力来源。由于放射綫和光一样能在半导体中产生自由电子,所以放射綫射在光电池上也能产生电流。这就是說利用半导体可以把原子能直接变为电能。但是目前达到的效率还很底,放射綫又有着破坏半导体的作用,使实际解决用原子能发生电力的問題更为困难些。

利用半导体大規模产生电力的确是一个很引人而且有重大意义的問題,等待着人們作进一步的探索。

五、照明工业中的半导体

随着半导体产生电力的介紹以后。讓我們来談談一个有关用电的問題。

在平常的电灯里面是利用电流把灯絲烧热使它发出光

来。所用的电只有3－4％变成我們需要的光，其它部分都是白白地耗費了。这样的发光办法是很不經济的。日光灯的发光完全用了不同的原理。在日光灯的管子里，先由电能发生我們不能見的紫外綫，紫外綫打到管子上所涂的粉末上面，就被这粉末所吸收，同时粉末再放出可見光来供照明用。这种能把紫外光吸收而变成可見光的那些粉末就是半导体。今天的日光灯不但可以有我們需要的色調，而且效率比电灯高了三倍，換一句話說，节約了2/3的用电。

这个效率不能再提高多少了，这是因为半导体吸收紫外光放出可見光，从原理上講就要有很大的能量消耗。最近对于半导体的研究提出一种新的可能性，就是不再經过发生紫外綫的那一道手續，而是直接把电压加在半导体上使半导体发光。这种发光是均匀地由一个半导体板面上发射出来，因此可以方便地用来作成发光的指示板。这种所謂場致发光的发展預示着一种完全新型的照明，光不再是从一个象灯泡那样的集中的光源照射出，而是可以从一个大的光亮空間上（譬如，我們可以想象是整个的屋頂和四壁）滲照出来。利用場致发光，也有可能把电視管用一块半导体的发光板来代替，从而改变了电視技术的面貌。

六、半导体整流器

关于半导体整流器的应用前面已經講到，算到现在差不多有了30年的历史，但是主要的应用都在电力很小的情况下。需用强大的直流电力的时候，过去大都是用直流发电机。

最近利用鍺和硅制做半导体整流器获得了很重大的发展。过去要做一个能供給几千瓦电能的半导体整流器要用几

公斤的半导体和几十公斤的金属，而同样电力的新型整流器所需要的半导体不到一克所需要的金属不过一公斤上下。两相比較无論体积和重量都相差几十倍。由于效率的提高，新型的半导体整流器組合起来，已經可以用来供应大电力了。它的构造簡单，体积和重量很小，这些都是现在的直流发电机无从比拟的。譬如，一个供电几十瓩的半导体整流器組合，不过有一个手提包的大小，而同样电力的发电机却有一个小房間那么大。半导体整流器的构造十分簡单。以鍺的合金型整流器为例：除去保护和散热的外壳以外，中心部分不过是一块銅板上面焊了一片薄薄的鍺半导体，在它的上面則是用熔化的方法复盖了一层金属銦。在銦上面再焊上一小块銅板把电流和热引出去。在使用上也和机器不同，半导体整流器并不存在什么維护的麻煩問題。现在已完全有可能在电化学工业和电火車中采用半导体整流器来供应所需要的大量直流电力。

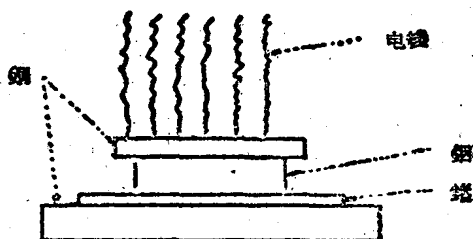


图5 鍺整流器内部构造。

七、半导体电子管

最后再講一下采用半导体来代替真空管的問題。为方便起見，我們姑且把代替真空管的半导体器件叫做半导体电子管。

按目前的情况来講，半导体电子管无疑是半导体最重要的应用。制造半导体电子管的可能性，在科学上一提出来就

受到极大的重視，这是由于半导体电子管具有明显的，多方面的优越性。

目前半导体电子管是用鍺或硅做成的，构造也是很简单的。以所謂鍺合金管为例：管子基本上是用一片很薄的鍺，制造时在它的两个面上滴上了两滴熔化了的金属，上面各引出一条金属絲作为电接头；另外再有一个电接头直接焊到半导体片上。从半导体內部来看，只不过是一片很純的半导体，其中含有在制造时从两边金属中滲进来的很少量的金属原子。就是这些金属原子起着杂質的作用，使半导体有了和眞空管相似的性質。

应当說明，半导体电子管的构造虽然很简单，然而制造时却必須保持高度精密的控制。如高度純凈的鍺片厚薄需要精确到万分之几个厘米，滲到这薄片內的原子也必須严密地控制。最后那制成的器件外表也要保持純凈，不能有一点沾污。

半导体电子管和一般眞空管比較起来，它的体积小，十分輕、构造简单而且坚固，一个普通的半导体电子管連上外壳还不到一公分高。在受到强烈的振动的条件下，一般眞空管都要受到损害，惟有半导体电子管可以不受损害而照旧工作。只要封閉得好，估計半导体电子管的使用期限最少比眞空管长几十倍。

半导体电子管的另外一个重要的优点是消耗电量极小。在一般眞空管內，必需花费不少的电把灯絲烧热，使它不断放出电子来，才能使眞空管工作。这是眞空管耗电的主要部分。这一部分可以說完全是多余的消耗，因为它几乎全部都是作为热而散失掉。在半导体电子管中就沒有这一部分的消耗。而且半导体电子管还可以在很小的电力之下工作，这样的一

个特点，在应用半导体电子管的收音机中可以看得很明白。图 9 用半导体电子管的收音机平常只要三节或四节手电筒用的干电池，而使用的时間可以达到几百小时。因为它所需要的电力很小，相应地几乎所有的零件都縮小了，并且簡单化了。这样的一些优点集中起来，使半导体电子管的使用給无綫电电子学技术带来革命性的变化。特别在国防上及自动控制的应用上，它可以大大地縮小了各种仪器的体积、重量，避免了笨重的电源，讓許多过去用电子管不可能解决的問题都能得到解决，例如：电子仪器控制的复杂机器，采用了眞空管仪器就会充满几个大房間，需要极大的电力供給，而且几万个眞空管中的任何一个都可能突然失效而使整个仪器失去作用，因此不采用半导体电子管，就造成极大的困难。用半导体电子管可以做成半斤重的收发无綫电話机。不难設想这样就可以使每一个战士通过自己的收发話机来进行通訊联系。在需要高度自动化技术的现代航空和火箭技术中，利用

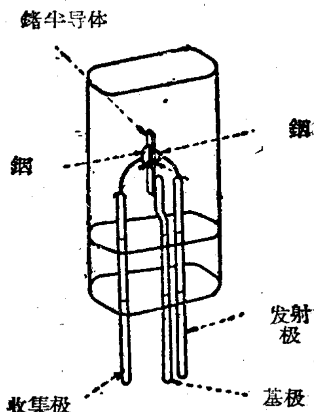
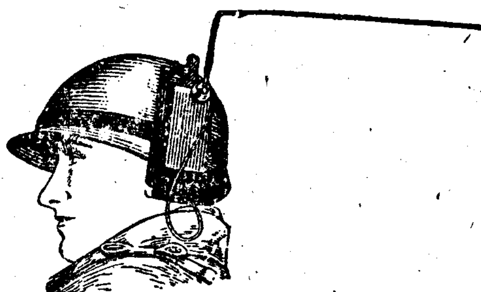


图 6 半导体电子管的构造。


图 7 战士用的半导体收发話机。

半导体使无綫电設备小型化的重大意义，当然更是十分明显了。

几年以来，我国的半导体事业，在从无到有成长起来的过程中，已經取得了許多成就。最近，在党的建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，文化、技术革命的群众运动在全国范围内轟轟烈烈地开展起来，更是大大地加速了半导体技术的发展。毫无疑問，不需要很长的时期，半导体技术就可以在全国遍地开花，使許多最尖端的科学技术都能够迅速地半导体化，向着更高的水平跃进，而为高速度地建設我国成为最先进的、伟大的社会主义国家发揮出重大的作用。

高分子化合物

王葆仁

一、高分子化合物的一般介紹

(一)高分子化合物是一类新型的化学材料

在生产过程中材料和技术是两个最主要的因素。有适宜的材料才能够制造出品質优良的产品来。新型材料的出現，不但能提高产品質量和增加产品种类，有时还能促进生产力的向前发展，因而推动了文化的进步。同时，文化的进步也能使生产技术提高，反促使新型材料的不断发現。所以文化和生产互相影响，而且有着不可分割的关系。

人类的历史，是从我們祖先能利用石头来制造工具的时候开始的，我們称那个时代做“石器时代”。以后我們祖先找到銅做材料，用它做成的工具比石头制的坚韌鋒利，可以进行种种較精細的操作。它又能耐火传热，可以制成鼎鑊，煮熟食物。从此人类的文化得以大大地向前推进一步。这就是“銅器时代”。再以后我們祖先又发現了鉄，知道用它做出来的工具比銅更坚硬鋒利，更适合工业和农业生产，这就进入了“鉄器时代”，这时期人类的文化有了很大的发展。

石头的利用是很方便而自然的，只要找到質地、大小和形状适宜的石块就行，不需要复杂的加工。用銅做材料就不同了，虽然銅在自然界中也存在，但是人們必須要学会高溫熔融和模鑄的技术，才能把它做成工具来使用。鉄的利用就

需要具有更高的技术了。元素的铁在自然界中除了陨石里以外是不存在的，人們只能从鉄的矿石里用化学冶炼的方法把它提炼出来。至于制造各种鋼材那就更复杂了，沒有高度的文化，不掌握高度的技术，是不可能制造出优良的鋼材的。

随着时代的进步，人們所使用的材料也不断增加。直到上一个世紀末为止，主要的材料有：石料、木材、竹材、棉花、麻、絲、羊毛、皮革、鋼鉄、各种金属、砖瓦、陶瓷、水泥、玻璃、橡胶等等。这些材料有的是从自然界取来直接应用的，有些是在取得后再經过冶炼、提取、焙烧等等化学加工手續制造出来的。凡是經过化学加工得来的材料都可以叫做化学材料。

从本世紀开始，化学家們又研究出了一类很重要的新型材料——高分子化合物。这些高分子化合物在工业上迅速地得到了应用。它們首先是作为木料、陶瓷等的代用品。随着它們的优越性能不断地为人們所了解，它們的新品种也不断地增加，現在已經成为工业上一类最重要的材料了。許多“合成”出来的高分子化合物在电气工业、飞机工业、汽車拖拉机工业和其他一些工业里都有它重要的用途。缺少了高分子化合物，这些工业是不可能建立起来的。此外制造重型机器中，也需要高分子化合物做軸承、軸瓦。雷达和一些通訊器材需要高分子化合物做絕緣材料。紡織工业要用合成纖維。电影片、照相胶卷、录音胶带、留声机片也都是高分子化合物做成的。总之，我們可以說，缺少了高分子化合物这一类化学材料，要建設現代化的工业和現代化的国防是不可能的，要提高和丰富人民的物質生活和文化生活也是不可能的。

从“石器时代”到上一世紀的末期，人們所使用的材料，

种类虽然有很大的增加，可是它們都具有相同的局限性，就是受天然資源的限制。缺乏了某种原料，就不可能制得某种材料。比如橡胶树只生長在热带和亚热带，許多矿产在各个地区的分布极不平均。这样就使得某些地区因为不能得到某些重要的材料而建立不起某种工业来。但高分子化合物就沒有这样的局限性，因为制造各种各类的高分子化合物所需的原料，主要的只是煤、水、盐和空气，这些原料是到处都有的。各种高分子化合物的性質又是多种多样，适于各种不同用途的材料。这就是說，我們可以在任何国家任何地区建立起高分子化合物的工业，来适应各个地区各种不同性質的材料的需要。这在材料的供应上是一个飞跃的进步。

目前世界各国都在建立高分子化合物的工业，大量的来生产高分子化合物。在市場上出現的高分子化合物已有一千多种，在研究試制阶段的就更多了。全世界高分子化合物制品的年产总量达六七百万吨。这样大的数字，除了鋼鉄工业和石油工业以外，是沒有其他的工业比得上的，并且这个数字还在不断的上升。这就反映了高分子化合物的重要性。現在大家都公認，20世紀后半紀是原子能和高分子时代，因为原子能是新型的能的来源，高分子化合物是新型的材料来源。

(二)高分子化合物的分子結构

什么是高分子化合物呢？首先介紹分子这个名詞。大家都知道分子是一切化合物最小的单位粒子。每一个分子是一定数目的原子由化学能力結合起来的。这些原子可以是同一元素的原子，也可以是不同元素的原子。一般的化合物中，每一分子只含有几个到几十个原子，比較最复杂的有机化合物分子，也不过含有二三百个原子。可是高分子化合物每一个分子內却含有几千个、几万个甚至几十万个原子。每一个高分子

比起平常的低分子来，那是要庞大得多，真象是大象比老鼠，南瓜比豌豆，所以叫做高分子。

我們常見的水，在它的每一个分子內，只含有三个原子，其中包括二个氢原子，一个氧原子。它的化学程式是H_2O。

蔗糖就比較复杂了，每一个蔗糖分子含四十五个原子。它的化学程式是$C_{12}H_{22}O_{11}$。

在牛油里面含有一种化合物叫做三硬脂酸甘油脂。这是比較复杂的化合物，但是在每一分子里也不过只有一百七十三个原子。它的化学程式是$C_{57}H_{110}O_6$。

高分子就不同了，我們也来举几个例子：

耐綸（又叫尼隆，就是做玻璃絲袜的材料）的分子里大約含有四千个原子。它的化学程式是$(C_{12}H_{22}O_2N_2)n$，“n”是聚合度（解释見后面），在这里大約在一百左右。

天然橡胶每一个分子里大約含有五万到六万个原子。它的化学程式是$(C_5H_8)n$，“n”大約在五千左右。

木材里面有一种高分子化合物，叫做纖維素，它的每一分子里約含有十万到二十万个原子。它的化学程式是$(C_6H_{10}O_5)n$，“n”約为五千到一万。

上面所說的高分子化合物的化学程式都是在括弧外面有一个“n”，它表示“聚合度”。每一个高分子化合物分子里面含有几千到几十万个原子，这許多原子都是按一定方式排列起来的。它們首先是排成許多相同的小单位，許許多多这样的小单位再連接成为一个高分子。比如橡胶分子里面的小单位是(C_5H_8)，每一个橡胶分子里面含有“n”个小单位象下面这样連結起来：……$-(C_5H_8)-(C_5H_8)-(C_5H_8)-(C_5H_8)-(C_5H_8)-$…这些小单位我們叫它們做“鏈节”，

好象鎖鏈里面的每一环，“n”是“聚合度”，就是表示有多少个鏈节聚合在一起的意思。

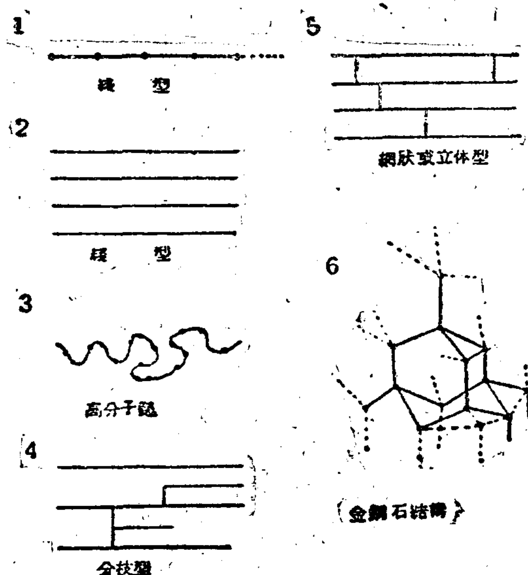


图1 高分子化合物結构示意图。

象耐綸、橡胶这一类的高分子化合物，它們的分子結构是許多鏈节連成一个长鏈的高分子，叫做“綫型”結构。如图1里的(1)所表示的。許多綫型分子构成高分子化合物如(2)。当然每一个分子通常都蜷曲成不規則的綫团如(3)。在这些鏈节串連的时候，也可以連成分枝的型式如(4)。如果在分子鏈和分子鏈中間，再有許多鏈节把它們“交联”起来，这样就成为象(5)那样的立体型結构，实际上分子的形状当然不是象一堵墙，而是比較蜷曲的，象一张不規則的网子。如

果交联很多，分子形状固定，就成为很牢固的化合物。坚硬的金刚石結构如（6），是一个交联很多的典型例子。

在綫型分子結构的高分子化合物中，如果在它們的鏈节里含有可以相互起化学反应的基团❶，也可以在适当的情况下发生化学反应，分子鏈和分子鏈交联起来，成为立体型結构。这种从綫型結构轉变成为立体型結构的变化，在高分子化合物的应用方面是很重要的，在后面还要詳談。

（三）高分子化合物的“合成”方法

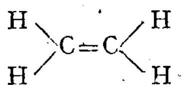
自然界里存在很多高分子化合物。比如木材、竹材、棉、麻里的纖維素；蚕絲、羊毛、角、发、皮革的主要成分蛋白質；还有各种粮食里面所含的淀粉等都是高分子化合物。这些东西我們早就利用来制造生产資料和生活資料了。但是它們的生产量有限，种类不多，性質又是固定的，不能适应各种不同的要求。現在我們所要說的高分子化合物，主要是指的靠“合成”的方法制造出来的化学材料。

所謂“合成”，就是把簡单的低分子化合物經过化学方法加工处理，把它們聚合起来成为复杂的高分子化合物。这些可以起聚合反应的低分子化合物，又叫做“单体”，高分子化合物又叫做“聚合体”。所用的化学方法有两种：一种叫“加成聚合”；一种叫“縮合聚合”。

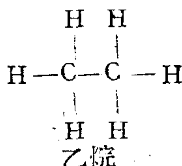
在有机化合物里面有一类化合物叫做烯类化合物。它們的分子，象乙烯（C_2H_4）所含的H原子要比乙烷（C_2H_6）少些。乙烯和乙烷的結构式是：

---

❶ 基团——在化学中又叫“基”，又叫“原子团”，比如是CH_3—（甲基），—CHO（醇基），—CO—（酮基），—COOH（羧基），—NH_2（氨基），—NO（硝基）……等等。它們在化学反应中好象一个簡单的原子，有它自己独立不同的性質；化合物的化学性質就和所含的基有关系。



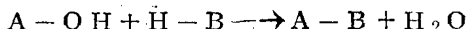
乙烯



乙烷

在乙烯中碳原子中間就有一个双鍵，其他的烯类化合物也都有双鍵。因此，可說在它們分子里面有一部分潛在的化合能力还沒有用完。当我們把这些烯类化合物用光去照射、加热，或者用某一些化学药品去处理的时候，它們潛在的化合能力就活跃起来。許多个烯类分子就相互化合，也就是聚合成为一个高分子。这样的化合作用好象是分子和分子一个一个相加起来，成为一个大分子，所以叫“加成聚合”。烯类单体的分子象是一根一根的鉄軌，而聚合成的高分子象是接成的軌道。在这里我們很清楚的看出来，每一个烯类分子在聚合以后就成为高分子的一个鏈节，它們的化学組成是完全相同的。从“n”个分子經过加成聚合而形成的高分子，就有“n”个鏈节。

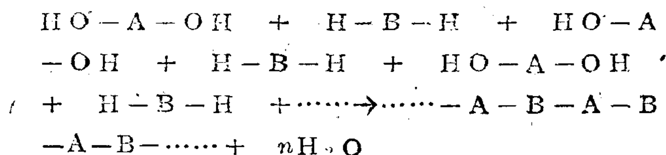
“縮合聚合”就比較复杂一些，首先我們要了解“縮合”的意义。在許多化合物里都含有所謂“官能团”，这就是一些可以起化学反应的基团。比如有两种化合物，一种含有OH（我們管它叫做羟基）的官能团，另一种含有H（我們管它叫做活泼的氢原子）的官能团。当这两种化合物发生化学变化时，它們两个分子可以縮去一分H_2O（即是放出一分子水）結合成为一个較大的分子。这种反应在化学里叫縮合反应。（縮合反应，不一定是縮掉了H_2O，也可以縮掉HCl、NaCl、H_2S、C_2H_5OH等等，这里仅仅是举一种例子来說明）。



$$A-OH+H-B\longrightarrow A-B+H_2O$$

現在如果第一种化合物里含有不只一个OH，第二种化

合物里含有不只一个活泼的H，它們在化合的时候就可以有許多分子縮去了許多水，聚合成为一个高分子。这种反应就叫做“縮合聚合”：



$$HO-A-OH + H-B-H + HO-A-OH + H-B-H + HO-A-OH + H-B-H + \cdots\cdots \rightarrow \cdots\cdots -A-B-A-B-A-B-\cdots\cdots + nH_2O$$

我們可以設想“縮合反应”好象是把二根短綫打一个結連起来，把打結处多余的綫头剪掉(就等于縮掉一段)，結成一根綫。“縮合聚合”就好象是把許多根短綫打結連起来成为一根很长的繩子。这样高分子的鏈节(現在是A－B)，它的化学組成是和原来的单体不相同的(縮掉了H_2O)。

现在我們可以应用种种烯类单体經过加成聚合的方法，应用种种含有官能团的单体經过縮合聚合的方法，制造出种种不同的高分子化合物。单体不相同，聚合成的高分子化合物当然也不相同。单体相同，如果聚合度不相同，也会得到不同性質的高分子化合物。此外两种或两种以上的单体还可以聚合到一起成为一个高分子化合物，这叫做共聚合。因此，可能制造出来的高分子化合物种类是无穷无尽的了。

一种高分子化合物在制成以后还可以进行化学反应，轉变成另一种高分子化合物。最重要的就是前面所提到的从綫型的高分子化合物轉变为立体型的高分子化合物。这里可以有两种方法使它轉变。一种方法就是某一些高分子化合物在它每一个高分子里仍然含有双鏈，这些双鏈可以和硫黄起化学反应(硫化)生成交联。例如生橡胶經过硫化以后变成橡皮就是这种变化。另一种方法是某一些高分子化合物的分子里面还有一些官能团，在較高的溫度中可以繼續发生化学反应

生成交联。电木粉在高温度受压力以后变成坚硬的电木，就是由于发生了这种变化。

(四)高分子化合物的几个重要的基本性質

高分子化合物在每一个分子里含有成千上万个原子，这些原子幷且依照一定的規律排列起来，或是成为鏈状的綫型分子，或是成为网状的立体型分子，这已經在前面叙述过了。这种分子結构和低分子化合物的分子結构是截然不同的，因此高分子化合物有許多性質也是和低分子化合物截然不同的。这里我們談几个基本性質：

第一是弹性。前面說到过，綫型高分子化合物的分子在普通的情况下是蜷曲着的，好象是一团不規則的綫团。我們可以想象到当力量加上去时，这种蜷曲着的分子可以被拉得直一些，当拉力除去以后，分子又可以恢复到原来蜷曲的形状。橡胶之所以具有弹性，就是因为它的分子是很柔順的綫型分子。許多綫型分子都具有不同程度的弹性。凡弹性大的，我

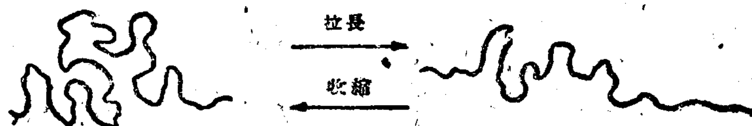


图2　高分子化合物的弹性。

們都管它們叫做橡胶类的高分子化合物。立体型的高分子化合物如果交联不多也可以伸长縮短，比如橡皮。但是高度硫化的硬橡皮交联很多，就变成很僵硬，不能再伸长縮短了（交联达到最大程度的金刚石，是世界上最硬的东西）。

第二是可塑性。綫型高分子当加热到一定温度以上就漸漸軟化。这时可以把它們在模子里做成一定式样，或是用机

器滚压成一定式样，在冷下来以后它們就保持了那个式样。这种性質叫做可塑性。利用这种性質我們可以把高分子化合物做成各式各样的物体。高分子化合物不但在軟化的时候可以加工，还可以加高温度使它們熔融成为液体来浇鑄物件，或是从小孔里挤出来做出管子、棒子或拉成細絲、吹成容器等等。这些加工成形的方法都是利用它們的可塑性。很大一部分高分子化合物，因为它們具有可塑性，可以塑制成各种物件，因而它們被称为塑料类的高分子化合物。

高分子化合物便于加工成形的可塑性也是它們作为材料的重要优点之一。巨大的物件如整个船的壳子，工厂厂房屋頂，都可以一下子压鑄出来。小的如精細的螺絲、齿輪也可以浇鑄。并且鑄出来以后表面就很光滑細致，不需要再在車床鉋床上加工，可以直接使用，这样就大大地縮短了工序。

立体型的高分子化合物在加热的时候不能軟化和熔融，所以又叫热稳定性高分子化合物。前面曾經說到，有一些綫型高分子化合物在加热的时候会繼續起化学反应轉变为立体型的，那些高分子我們叫它們做热固性高分子化合物。具有一般可塑性即是热时变軟冷时变硬的，我們叫它們做热塑性高分子化合物。

第三是結晶性。当許多分子按照一定的形式很整齐的排列起来时，就形成了結晶。低分子化合物因为分子小，容易排得整齐，所以都容易結晶。高分子化合物每一个分子都很长大，又蜷曲成不規則的綫团，所以不能排列成为整齐的形式，因此也就不能結晶。可是許多綫型高分子化合物，当把它們拉长的时候，它們里面的各个分子鏈的鏈节和鏈节之間有一些地方可以排得很整齐，这些地方就成为結晶状态；在

另外地方还是不整齐的非結晶状态，这种情况叫做部分結晶。如果分子鏈和分子鏈之間因为含有某一些基团彼此发生了較强的吸引力，这种部分結晶状态就可以固定下来，分子鏈也不再恢复到原有的形状。具有这种性質的高分子化合物

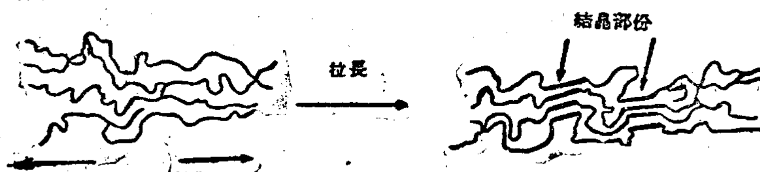


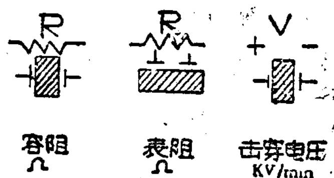
图 3　高分子化合物的部分結晶。

可以拉成很細而坚牢的絲，我們叫它們做纖維类的高分子化合物。

象耐綸这些高分子化合物，当把它們熔融以后从細孔里挤出来成为細絲的时候，这些細絲幷不坚韌。只有在把它們拉长使它們发生了部分結晶以后才具有相当大的强度。这个拉长的步驟叫做“冷拉”。

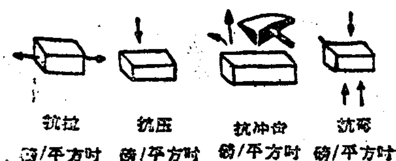
第四是对电的絕緣性。高分子化合物都不能传电，所以有很好的絕緣性，可以广泛地用做絕緣材料。許多低分子化合物也有很好的絕緣性，但是它們不可能象高分子化合物这样当作絕緣材料来使用。比如蔗糖、牛油都有絕緣性，但是我們不可能把它們做成电气材料如电灯头或是插銷、朴落等。同时高分子化合物一般都是不吸水的，因此它們的絕緣性質就比无机的低分子化合物更好。因为水能传电，所以越不吸水的，絕緣性就越好。

我們把几种高分子化合物的絕緣常数列在表 1 里面，幷且把它們同玻璃和瓷的絕緣常数做一个比較。我們就可以看到象聚乙烯的絕緣性質要比玻璃和瓷高得多。如果再考虑到玻璃和瓷容易破碎、不容易加工做成各种部件，那就更体会



	容阻 Ω	表阻 Ω	击穿电压 KV/mm
聚乙烯	10^{14}	10^{14}	60
聚苯乙烯	10^{14}	10^{14}	60
耐綸	10^{13}	10^{13}	24
醋酸纖維素	10^{12}	10^{12}	24
聚氯乙烯	10^{13}	10^{13}	50
玻璃、瓷	10^{13}		45

表 1　高分子化合物的絕緣常数。



	抗拉 磅/平方吋	抗压 磅/平方吋	抗冲击 磅/平方吋	抗弯 磅/平方吋
聚酯增强塑料	100,000	70,000	70	80,000
鋼	100,000	50,000	45	
鋁	25,000	12,000	20	
聚乙烯	1,800		不破	弹性
聚氯乙烯	2,000	1,000	不破	
聚苯乙烯	8,000	13,000	2	17,000
耐綸（纖維）	50,000	14,000	不破	17,000
聚氯乙烯（硬）	7,000	10,000	1.5	16,000
醋酸纖維素	6,000	14,000	3	12,000
有机玻璃	8,000	12,000	0.4	17,000

表 2　高分子材料的机械强度。

到高分子化合物的优越性了。

第五是机械强度。許多高分子化合物可以用来做結构材

料。它們的机械强度在各种情况下是很重要的性質。表2列了一些高分子材料并把鋼和鋁也列在一道做比較。我們可以看到象聚酯一玻璃布增强塑料这一类的高分子材料，它比鋼还要强。如果考虑到高分子材料制造方便加工成形方便又不传电传热，那就更是金属材料所不能比拟的了。

二、几种重要的高分子化合物

高分子化合物种类很多，不可能全部談到，只能举几个重要的有代表性的例子。

首先，从高分子化合物的結构和性質再結合了它們的用途，可以把它們按照下面来分类：

一、橡胶类：綫型的高分子化合物具有弹性，分子中含有双鍵，可以和硫黄起硫化反应轉变为立体型結构的橡皮。

二、纖維类：綫型的高分子化合物分子鏈上含有相互吸引的基团，在拉长后发生部分結晶現象，成为坚韌的細絲。

三、塑料类：綫型的高分子化合物在加热軟化或熔融后，可以模塑或浇鑄的称做热塑性塑料。

綫型的高分子化合物具有潜在的官能团，在高溫度时可以轉变为立体型高分子化合物的称做热固性塑料。

四、其他：除上面三类用途以外的高分子化合物，还有离子交換剂、胶合剂、高級潤滑油等等。

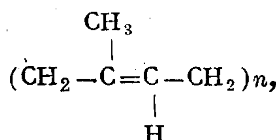
我們現在就按照这个分类次序介紹几种高分子化合物。

一、橡胶类

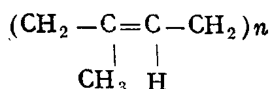
1.天然橡胶：是一种巴西橡树在树干被割破以后流出来象牛乳一样的液体，叫做胶乳。在胶乳中加进少許醋酸以后，凝結成一种固体物質，把它用烟燻干，以防腐敗，再压成一片一片的，就叫做生胶片，或是烟片。每一棵橡树每年

可以出产两三公斤到七八公斤烟片。这种烟片，主要的成分是天然橡胶，化学名称叫聚異戊二烯。把橡胶經过硫化作用后就成为橡皮，其中的化学变化也在前面談过了。橡皮的用途是大家所熟悉的，也不須多說。目前世界各国橡胶制品已达数万种之多。

不但橡树里含有橡胶，許多植物里也含有橡胶，不过質量都比不上橡树里的橡胶好。另外，我們中国有一种杜仲树，它的枝叶树干里含有一种叫做杜仲胶的高分子化合物。杜仲胶和天然橡胶的化学成分完全一样，也是聚異戊二烯，不过結构稍微有点不同。它的化学結构式是



和橡胶所不同的地方只是在双鍵旁边的CH_3和H分别在上下两边，我們叫它做"聚反異戊二烯"。天然橡胶的化学結构式是



双鍵旁边的CH_3和H是在一旁的，我們叫它做"聚順異戊二烯"来表示它們間結构的区别。

这一点結构上的不同使得橡胶和杜仲胶的性質也不相同。杜仲胶比橡胶硬，弹性沒有橡胶好。它比較抗得住气候和海水等的侵蝕，絕緣性質也比較好，在地下或海底电纜外面包的一层橡皮，最好是用杜仲胶来做。

橡胶的每年的用量很大，目前全世界要用到二百几十万吨，而橡树又只能生长在热带和亚热带地区。所以各大国家

都在大量地生产合成橡胶。这些合成橡胶有些性質胜过天然橡胶，有些性質不如天然橡胶。第一种在工业上生产的合成橡胶是丁鈉橡胶，这是苏联科学家杰出的貢献。不过丁鈉胶的性能不很好，不耐磨，現在已經不再发展，产量每年漸漸减少，而为下列一些合成橡胶所代替了。

2.丁苯橡胶：丁苯橡胶是把丁二烯（$CH_2=CH-CH=CH_2$）和苯乙烯（$C_6H_5-CH=CH_2$）两种单体在一道进行加成聚合制成的。这样两种或两种以上单体在一道聚合，称做“共聚合”。共聚合形成的高分子化合物往往兼有两种单体单独聚合所得的高分子的优点。这和把两种金属做成合金一样，是高分子化合物重要发展方向之一。

丁二烯可以从酒精、石油气、乙炔气或是农业副产品做成的糠醛制得。苯乙烯可以从煤焦油石油气和酒精等制得。这些原料到处都有，不受資源的限制。

丁苯橡胶在耐磨和不易变質两方面比天然橡胶还要好，可以代替天然橡胶做一般用途，特别是做汽車輪胎、传动带等。

3.氯丁橡胶：电石遇到水就发生乙炔气，从乙炔气和盐酸气可以做成氯丁二烯（$CH_2=CCl-CH=CH_2$）单体。把这个单体經过聚合就成为氯丁橡胶。电石是从煤和石灰做成的，因此氯丁橡胶的制造工业也不受資源限制，任何地区都可以建立。

氯丁橡胶也是一种很好的合成橡胶。它的优点是耐磨和耐油，天然橡胶遇到油就发胀，容易損坏，丁苯橡胶比較好些，氯丁橡胶不怕油。它可以做一般用途。最好的用途是做轉动带和传运带，因为这些皮带总要碰到机器上用的潤滑油。它的缺点是会慢慢地放出一点盐酸气，所以不宜于用来

做汽車輪胎，因为盐酸气会使輪胎里的帘綫发脆。

4.異丁橡胶：这是一种比較新的合成橡胶，用異丁烯（加一点丁二烯）經过加成聚合制成的。異丁烯〔$CH_2=C(CH_3)_2$〕是从石油气里分离出来的一种气体。聚合时要在比較高的压力和低的溫度下进行。这种橡胶有个重要的特点是不漏气。普通橡胶都有一点透气，比如氢气球会漸漸縮小，就是氢气漸漸漏掉了。所以異丁橡胶是制軍用气球和輪胎內胎的最好材料。

5.聚矽橡胶：这又是一种特别的橡胶，是用二甲基二氯矽烷和水經过縮合聚合制成的。二甲基二氯矽烷〔$(CH_3)_2SiCl_2$〕是从矽石、氯气和天然气做成的。这种聚矽橡胶现在还比較貴，但是它具有耐热耐寒的特性，并且对电的絕緣性特別好。一般橡胶到了200°C 左右，就失去了弹性，容易損坏，冷到零下二三十度就发脆。聚矽橡胶可以耐350°C 到400°C的高溫。也可以耐－70°C的低溫，在这样的高溫低溫下长期使用，还能保持弹性和形狀。所以在許多地方，尤其是一些航空器材和高溫絕緣器材要用它。缺点是拉力不强，容易磨損。

上面只举了四种合成橡胶，此外还有很多重要的合成橡胶如丁氰橡胶、聚硫橡胶等等，就不一一列举了。

二、纖維类

天然纖維有动物性和植物性两大类，动物性的如羊毛、蚕絲等蛋白質纖維。植物性的如棉、麻中的纖維素。它們都是高分子化合物，早已被人利用于紡織工业。在上一世紀里，纖維素已經用化学处理的方法做成人造絲。現在还用纖維素做一些塑料和油漆的材料。蛋白纖維除了羊毛、蚕絲以外，用人工方法从大豆、花生中提出蛋白質来做成蛋白纖維

也在市上出現。

1.再生纖維：再生纖維就是把纖維用化学方法，把纖維素(如棉花、紙浆)变成可以溶解的东西，再把这种溶液从很細的孔——叫做噴咀——噴到另外一种化学葯品溶液里，又变回来成为原来的纖維素，这样再生出来的纖維素是細的絲状东西，就是人造絲。其实蚕絲是蛋白質，再生纖維是纖維素，它們在化学成分上是完全不同的。

制造再生纖維有两种方法：一种叫粘液法，一种叫銅氨法。后面一种已不占重要地位，現在只談談用粘液法做成的粘液絲。

粘液絲是先把紙浆用燒碱浸透，再用二硫化碳处理，变成纖維素黃酸鈉。它可以在碱水里溶解，当碱溶液噴到酸性液体里就成了粘液絲。它的外表和絲相象，有光泽，可以供紡織的用途。在噴出的时候又可以用特种冷拉的方法处理，这样得到的粘液絲，拉力比較强，可以做輪胎中的簾綫。

2.硝酸纖維素：把纖維素(棉花、紙浆)和硫酸硝酸一齐起化学作用就得到硝酸纖維素。纖維素的化学程式是$(C_6H_{10}O_5)n$。在每一鏈节里有三个可以和硝酸化合的羟基(OH)。如果三个都化合了，产物就叫做三硝基纖維素，可以做炸葯用，就是棉花火葯。如果只有二个羟基化合，就成为二硝基纖維素，平常在高分子工业里用的"硝酸纖維素"主要就是二硝基纖維素。

原来的纖維素在一般溶剂里都是不溶解的，硝酸纖維素可以在有些溶剂里比如在香蕉水(醋酸戊酯)里溶解。把它的溶液噴到热的空气里，溶剂蒸发掉了，硝酸纖維素就剩下来成为一种人造絲。如果噴咀上不是小孔而是細縫，就得到軟片。現在已經不用硝酸纖維素来做紡織用的人造絲和照相用

的軟片了，因为它会着火燃烧，有时还会炸，不安全。現在它的主要用途是做油漆，象汽車上的各种鮮艳顏色的漆，有些是用硝酸纖維溶液混合了各种顏料做成的噴漆。另外一种用途是做塑料，例如把它和樟脑混合起来做成了“賽璐珞”，又叫假象牙，可以做各种用具和玩具，乒乓球就是用这种材料做成的。

3.醋酸纖維素：醋酸纖維素是用纖維素和醋酸起作用得到的，有时也用醋酸和丁酸一道起作用，得到的东西是醋酸丁酸纖維素。它也同硝酸纖維素一样有三醋酸纖維素和二醋酸纖維素。二醋酸纖維素主要是用做紡織纖維。把它溶解在溶剂里，照上面硝酸纖維素的方法做成人造絲和軟片，它們不容易着火，所以很安全。現在电影片全都是用醋酸纖維素做成的。三醋酸纖維素和醋酸丁酸纖維素主要是用来做塑料。因为原料容易得，制造方便，所以价錢很便宜，可以說是最普遍的高分子材料。它可以做汽車方向盘、鋼笔杆、电話筒壳子、薄膜、平板、化学工厂的容器管子等等。

4.聚酰胺纖維——这是合成纖維里面最好的一类纖維，其中最常見的是耐綸、卡甫綸、尼隆11和尼隆9。

耐綸(也叫尼隆66或紡綸)是从己二酸 $C_4H_8(COOH)_2$ 和己二胺$C_6H_{12}(NH_2)_2$經过縮合聚合作用制成的。卡甫綸是从己內酰胺$C_5H_{10}CONH$聚合制成的。尼隆11是从氨基十一酸縮合聚合制成的。尼隆9是从氨基壬酸縮合聚合制成的。己二酸和己二胺可以从农林业废品如糠皮、棉子壳、玉米芯等提炼出来的糠醛中制出来，己內酰胺可以从工业副产品煤焦油中提炼出来的苯酚中制出来，氨基十一酸和氨基壬酸都可以从蓖麻油制出来。我們国家将成为大工业国又是大农业国，这两种合成纖維从原料来說，都应当大量发展。我們将

这些高分子放在高溫下熔化，可以抽成纖維。这种纖維經过冷拉以后强度很高。直径0.1厘米的細絲，就可以吊起一百公斤的东西而不断。把它們紡綫織布，做輪胎的帘綫，可以使輪胎担負重大而突然加上去的力量，高速度重型飞机的輪胎必須用这种帘綫，棉綫麻綫絲綫都不行。降落伞用它比天然蚕絲好，可以保証安全。因为天然蚕絲粗細不一致，而且遇到雨水拉力就会減低，而耐綸和卡甫綸纖維是均匀一致又不怕潮湿的。日用品里如尼隆布、尼隆絲袜、牙刷毛用它做可以經久不坏。用它們做釣魚綫或是魚网，在水里透明魚看不到(因为它的折光率和水差不多)，又耐海水和細菌的侵蝕，是最理想的材料。

聚酰胺类的高分子不仅可以抽成細絲作为纖維来用，也可以作为塑料应用。它們在軟化或熔化以后可以在模子里压鑄成各种机器部件，如軸承、齿輪、垫圈等物。鑄制出来的部件表面很光滑，工作起来沒有噪音。不需用潤滑油，必要的时候只需用水做滑潤剂就行。因此在許多工业中，如紡織工业、食品工业等产品怕油汚的地方都可以用这种机器部件，它們又坚韌不会破碎，比金属做的更經久耐用。而且还可以抵抗有机溶剂的溶解和侵蝕，因此可以把它們做薄膜，制成袋子装汽油，用作飞机的輔助油箱；也可以做輸油管以及油罐的衬里和封口垫圈。

聚酰胺还可以制成薄片，代替牛皮做传动皮带。这种皮带的拉力比牛皮做的要大許多倍。

5.乙烯类纖維——乙烯类纖維种类很多，比較常見的有奥綸和維尼綸。奥綸是用丙烯腈(C_2H_3CN)經加成聚合方法制成聚丙烯腈，把它溶解在一种叫做二甲基甲酰胺的溶剂里紡出来的。它适宜于做出短纖維，作为羊毛的代用品。丙

烯腈价錢便宜，但是溶剂价錢貴并有毒性。現在研究出几种丙烯腈共聚纖維，它們是用丙烯腈和氯乙烯（C_2H_3Cl）或是和偏二氯乙烯（$C_2H_2Cl_2$）进行共聚合，得到的共聚合体，可以从便宜而无毒的溶剂如丙酮里紡絲。

維尼綸是用醋酸乙烯（$C_2H_3O_2CH_3$）聚合后經过部分水解，再用甲醛处理制成的。性質虽然不如聚酰胺纖維，但比人造絲好。价格可以同棉紗和人造絲相比。在将来生活水平提高人口增多以后，农业生产的棉、麻在数量和質量方面不能滿足人民的需要时，就必然要从工业上大量生产合成纖維来解决这个問題。維尼綸是比較合宜的纖維材料。

聚氯乙烯（見塑料类）是最便宜的高分子化合物，它的单体氯乙烯（C_2H_3Cl）是从电石和食盐做来的。过去只用来做塑料，現在也研究成功了紡成纖維的方法。这种合成纖維就更便宜了。还有把聚氯乙烯再用氯气去氯化，生成过氯乙烯，也可以紡成纖維。

6.聚酯纖維——滌綸：滌綸是用对苯二甲酸同乙二醇进行縮合聚合得到的。对苯二甲酸可以从煤焦油餾分制得，乙二醇可以从乙烯制得。

滌綸是属于聚酯的一类高分子化合物。从它做成的纖維和耐綸有同样的强度，因此有同样的用途，并且比耐綸耐氧化。

用滌綸織成的料子縫成衣服，同其他的合成纖維一样具有一个共同的大优点，就是不霉不蛀，旣不怕細菌侵蝕也不怕虫子咬。因为細菌和虫子都不能消化合成纖維。滌綸衣服还有一个特点，在洗滌后平整如新，又可保持原来的褶紋，不需要熨燙。

三、塑料类

1.聚乙烯：聚乙烯是化学結构最簡单的高分子化合物，化学程式是$(CH_2)n$。它是最近才制造出来的一种塑料，因为把乙烯进行加成聚合，在技术上是比較困难的。

聚乙烯的分子結构和石腊相似，不过分子量要大几百倍，所以它有些性質和石腊相象，如潤滑、柔軟、半透明、不怕强酸强碱等等。也有些性質和石腊不同，比如它是非常的韧，用鉄鎚捶它都捶不碎。它可以做家常用品如杯子、瓶子等，在化学工厂里用它做很大的容器和各种管子，都很耐用。它又不吸水，不漏气，做成薄膜可以包装东西。它又耐寒，可以做高空的气球。它的最突出的性質是絕緣性在一切高分子化合物当中是最好的一种。在通訊器材如短波无綫电、雷达、潜水艇里的电訊装置都非它不可。制造它的原料只是煤和水或是石油气。原料取用方便，所以具有最大发展前途。它的缺点是不能耐高温，在100°C以上它就漸漸軟化变形了，但这同时也是它的优点，因为可以很方便地鑄制成物件，高速度地生产。現在各国都在大量发展聚乙烯的制造。

过去聚乙烯的聚合要在很高的压力下面进行，現在利用鋁化物做触媒，已經可以在常压下进行了。

2.聚氯乙烯：聚氯乙烯是用氯乙烯加成聚合做出来的。聚氯乙烯的分子鏈上有許多氯原子，它們使得分子鏈之間发生很大吸力，不容易相互移动。因此它比聚乙烯硬而脆。

如果把一些沸点很高的溶剂滲进去，聚氯乙烯就变得很柔軟，这种溶剂我們叫它做“增塑剂”。它們虽然是低分子，但已經和高分子溶合成为一体，不再能分离出来了。坚硬的聚氯乙烯加入了增塑剂之后，就柔軟得和橡皮一样，可以做成薄膜、防水布、橡皮船、代用皮革等等。它又可以染成种种美

丽的顏色。它的絕緣性好，所以又用来做包在电綫外面的橡皮。聚氯乙烯还有一个重要用途，是做紡紗机上的皮輥，因

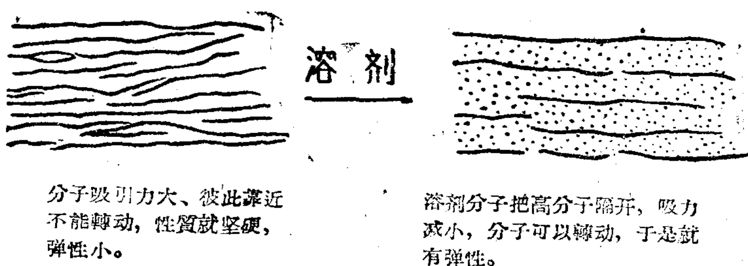


图4 增塑作用示意图。

为它可以做成无縫皮輥，来减少皮輥花到最小限度，比小牛皮、羊皮做的皮輥好得多。硬的聚氯乙烯（增塑剂加得少些）可以做唱片、墊圈、仪表外壳、导管、建筑材料等等。聚氯乙烯在目前是最便宜的高分子化合物，因此用途也最多。它的缺点是不耐寒，冷天发硬容易开裂。它又会慢慢分解，不耐久。現在大家在研究改进的方法。

3.聚苯乙烯：从煤焦油的餾分制得苯乙烯（$CH_2=CHC_6H_5$），把它經过加成聚合反应，就得到聚苯乙烯。

在分子鏈上附着了許多苯环，因为苯环的体积大，分子鏈和分子鏈挤軋在一起就不容易轉动，所以聚苯乙烯是比較硬的高分子材料，弹性較小。它透明无色，可以和染料混合成为各种美丽的顏色，很适合拿它做各种用品，如梳子、肥皂盒、裝飾用品、照相机壳子、代用玻璃等等。它在电气工业上的用途也很大，如用在收音机、电視和短波器材上，因为它的絕緣性和聚乙烯同样是头等的。它的缺点是比較脆容易断裂。但現在已經研究出一种新的聚合方法得到不脆的聚苯乙烯。另外还有一种新型的聚苯乙烯，叫做泡沫塑料，形

状象海綿，非常的輕，一张桌子那样大的一块，只不过几斤重，它是絕緣、隔音、保溫的最好材料，在冷藏庫、冰箱、飞机外壳里都可以使用它。

4.聚氟乙烯：这是最新制出来的高分子化合物之一，是从四氟乙烯（$CF_2=CF_2$）在高压下进行加成聚合得到的。它的化学程式是（CF_2）n。和聚乙烯結构很相象，不同的只是聚乙烯里面分子鏈上全是氢原子，而聚氟乙烯鏈上全是氟原子。所以它的性質也有和聚乙烯相象的地方，比如它非常滑潤，比冰还要潤滑，因此可以做机器軸承和垫圈。用它做糕餅模子可以不粘面。它經得起化学品的侵蝕，把它和硫酸、烧碱甚至王水煑几十个鐘点，一点也不发生变化，所以可以做化学工厂的許多設备。它耐高溫、不怕电火花，电絕緣性質和聚乙烯一样好，因此在雷达、高频通訊器材、短波器材里用处和聚乙烯相同，还可以用在溫度比較高的地方。它也可以抽成纖維，叫做太氟綸，也用在絕緣方面。

直到现在为止，在綫型高分子化合物中，聚氟乙烯是性質最优良的塑料之一。但是因为它价錢还比較貴，所以除了用在某些特殊的地方以外还用得不多。預料不久以后这个优良的高分子材料将会大量生产以供应用。我国有比較多的氟矿石如浙江的氟石，应当有可能来发展这一种高分子材料。

5.聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃）：許多透明的高分子化合物如酯酸纖維素、聚苯乙烯都可以代替玻璃应用。但是通常所說的"有机玻璃"是指聚甲基丙烯酸甲酯，它是由甲基丙烯酸甲酯（$CH_2=C(CH_3)CO_2CH_3$）經加成聚合制得的。

"有机玻璃"的透明程度比平常的玻璃还要高。平常的玻璃大約透过87—89%的光，而有机玻璃可透过91—93%的光。它具有韌性，不易破碎。枪弹打上去只打穿一个孔而不

会成为碎片，所以非常重要，是制造飞机坐艙窗子的不可缺少的材料，军用飞机尤其少不了它。它的折光性很好，做成装飾品晶瑩清徹非常好看。还可以利用它做一些光学仪器和零件。有一种眼球眼鏡，是放在眼球上面的眼鏡，就是用它来做的。此外做假牙、牙托等也必需应用它。它的絕緣性能也很好，但是因为价錢比較貴，所以不如聚苯乙烯用得普遍。它的表面硬度不大，容易磨损发毛，高溫时要軟化，这是它重要的缺点。

6.酚醛塑料：酚醛塑料是最早在市場上出現的一种合成高分子化合物，是用苯酚(C_6H_5OH)和甲醛(CH_2O)經縮合聚合制成的。制造过程一般都是分二步：第一步先做成綫型聚合度比較低的化合物，第二步再用高溫处理，讓它繼續起化学反应，轉变成立体型聚合度很高的化合物。

第一步所得到的綫型酚醛，可以磨碎成粉，和鋸木粉、石棉粉或是陶土等混合在一起就成为电木粉。把电木粉加高溫度时，先熔融再凝固成立体型的高分子化合物，就不再熔化。所以把它放在模子里加热加压，可以模塑成各种物件，这就是平常所說的电木用品，如各种各样的电料、汽車零件、日常用品等等。这些多是大家比較熟悉的。

綫型的酚醛，又可以在溶剂里溶解，所得到的溶液有三种用法。第一种是用来做油漆，涂在金属表面上，干后經过烘烤，就成为很漂亮很牢固不再溶解（因为經烘烤后已經变成立体型結构）的漆膜，有絕緣、防腐蝕、抗酸、抗碱等特性。第二种是用布或綢浸在溶液里，晾干烘焙后就成为絕緣布或絕緣綢，是做馬达和发动机所必需的材料。第三种是把紙、布、木片或是玻璃布（用玻璃纖維織成的布）在溶液里浸透，晾干后，一层一层的迭起来，在高溫下用压力压在一起，

就成为层压塑料。它的强度很大，可以代替金属材料。用紙或是布制的酚醛层压品可以做电开关板、油管、齿輪、机器零件、軸承等；用木片制的酚醛层压品可以做飞机的螺旋桨和建筑材料；用玻璃布做的酚醛层压品强度和鋼相仿，可以做汽船、汽車的外壳和巨大的机件等等。同时酚醛塑料价格最便宜，用得也最普遍。

7.胺醛塑料——这类塑料中最重要的是尿醛和三聚氰胺甲醛两种。尿醛是用尿素〔$CO(NH_2)_2$〕和甲醛縮合聚合制成的，三聚氰胺甲醛是用三聚氰胺($C_3H_6N_6$)和甲醛制成的。它們的使用方法和应用范围都和酚醛差不多。它們的强度比酚醛差，价格也比較貴。但是它們半透明，沒有顏色，又可以和染料混合。用它們做成的各种东西，如杯、盘、灯罩等，都很美观；平常叫它們做“电玉”。它們在电气工业上的应用，有一个很大的优点是不怕电火花，常有火花发生的地方，不能用酚醛塑料，可以用胺醛塑料。它們还可以做成直径不到一分的空心小球，用一厚层的这样小球浮在汽油面上可以防止汽油的蒸发。

8.聚酯塑料——醇酸树脂：聚酯是一类重要的高分子化合物，其中如繊綸是很好的合成纖維，在前面已經談到过，那是綫形的高分子；还有一些聚酯，可以做橡胶。現在說的是立体型的聚酯。

把邻苯二甲酸酐($C_6H_4C_2O_3$)和甘油〔$C_3H_5(OH)_3$〕进行縮合聚合，第一步得到可以溶解在溶剂里的綫型高分子化合物，第二步繼續加热，就再起化学作用，变成立体型的高分子化合物。这种立体型的聚酯坚牢稳固，和酚醛相象。它的用处是把第一步做成的可溶性聚酯溶解在溶剂內作为油漆用，把这种油漆漆到金属表面上后再烘烤，就成为耐久有光

泽的漆膜，叫做烤漆，电冰箱上面的漆就属于这一类。

另外一种聚酯——不饱和聚酯：是用顺丁烯二酸酐〔$(C_2H_4(CO)_2O$〕二元酸和乙二醇或丙二醇进行缩合聚合，得到液体聚酯。其中含有双鍵把它浸透玻璃布，用苯乙烯处理加催化剂使它們共聚合，就成聚酯增强塑料，这种塑料强度最大，比鋼还要大，比銅、鋁等金属强得多，質地又很輕，现在大量用它代替鋼材和金属，如飞机上的尾翼，汽車和小汽船的外壳，半透明的厂房屋頂，巨大的容器等。这些东西都是一次就在模子里做成的，不象鋼板要一块一块地焊接加工，节省許多人力。它又可以做化学工厂里巨大的儲气球等，能耐很高的压力。所以这种塑料的应用前途是非常大的。

在工业建設中要大量使用金属，尤其是鋼材。因此如何节約金属节約鋼材，就成为非常重要的問題。我国基本建設正在大量开展，鋼材和各种金属生产得还不够多。如果能发展层压塑料尤其是聚酯增强塑料来代替鋼材和金属，那对国家建設将有很大的貢献。

9.聚矽树脂：前面談起过聚矽橡胶，它有耐热、耐寒、高度絕緣等等的优良性質。如果在二甲基二氯矽烷(見前)和水进行聚合时，加一些甲基三氯矽烷（CH_3SiCl_3）一道聚合，就可以生成立体型的聚矽树脂。它的制造也是和酚醛一样分两个步驟进行：先做成可以溶解的树脂，把这种树脂的溶液涂在銅綫上只需很薄的一层，烘烤以后，就成了絕緣电綫；或是浸了綢布，烘烤后做絕緣綢布。它也可以和玻璃布做成层压塑料，方法同酚醛层压塑料一样。这种塑料完全透明，强度也非常大。它的最重要的性質是高度絕緣，又可以耐400°C 左右的高温，不怕水，不会腐蝕。它是电气工业里最

宝貴的材料，主要用在水力发电方面。用聚矽树脂作为絕緣材料来做发电机和馬达，因为它們的絕緣性和耐热性高，可以用得很少，这样就可以把机器的体积縮小一半，而且仍能发出同样多的电或是得到同样多的馬力。不但可以节省材料，而且在有些狹小地区的水力发电站必須用它。此外，聚矽树脂的溶液如果滲到普通油漆里，可以增加漆膜的耐久性，使它們能抗拒天气风沙的影响。它又可以用来保护在野外的文物，如石刻、紀念碑、壁画之类。

四、其他

上面是按高分子化合物的主要用途分为橡胶、纖維和塑料三类。高分子化合物的其他用法还很多，几乎每一类高分子化合物除了作为橡胶、纖維和塑料外，都有其他的用法。比如硝酸纖維、醇酸树脂、酚醛塑料都可以做油漆用，这些前面已經談到了。現在所談的是不用于橡胶、纖維和塑料而有特殊用途的一些高分子化合物。

1. 离子交换树脂：有一类立体型的高分子化合物，它們的分子上面带有可以和正离子或是負离子成盐的官能团（即是具有酸基或是碱基）。因为它們是立体型的所以在水里不能溶解。但是可以和存在于水里的离子相吸引。因为离子的种类不同，这种吸引力量也不相同。吸引力大的离子可以把吸引力小的离子交换下来。因此这一类高分子化合物称为离子交换树脂。

这一类化合物的用途很多，首先是在淨水方面。比如蒸汽鍋爐里用的水，如果含鈣質太多，就使得鍋爐里壁結上水垢，容易引起爆炸，如果用离子交换树脂把鈣离子除去，就可以防止水垢的积聚。用过的离子交换树脂还可以用食盐水把所吸收的鈣离子替换掉，重新使用。另外如制药工业要用

純淨的水，如用蒸餾水比較貴时也可以用离子交換树脂把水里的离子全部除去。还有，大家都知道海水不能喝，因为里面含有很多食盐和氯化鎂。我們也可以用离子交換树脂把其中的鈉、鎂离子和氯离子去掉，成为可以喝的水。虽然这个方法現在还不够經济，但是在特殊的情况下对海防或航海都有重要意义。此外，在制糖厂里如果把糖浆废液里面的离子去掉，就可以多得到糖。

离子交換树脂也可以应用在医疗方面，它的原理也和凈水相仿。比如患腎脏炎的病人不能吃盐，如果他先吃下一种离子交換树脂，再吃盐就不要紧、因为盐会被离子交換树脂除去。腎脏也是凈水用的，血液通过它时，血里面的杂質如尿素等就被排除掉。如果两个腎都有毛病，过去認为是无法治疗的，現在利用离子交換树脂做人工腎的試驗，已經有了成功的記載。

在提取有机天然产物如鏈霉素、植物硷，以及分离和富集稀有金属等方面时，也可以利用离子交換树脂。

2.液体高分子化合物：有些聚合度比較低的高分子化合物是液体，它們有特殊的用途。这里举两个例子：

和前面說过的聚矽橡胶和聚矽树脂相类似，如果把二甲基二氯矽烷和少量的三甲基氯矽烷〔$(CH_3)_3SiCl$〕进行水解，共縮合聚合，就可以得到液体的聚矽油。它的沸点高，凝固点低，对热稳定，不受空气氧化。它的粘度受溫度变化的影响很小，电絕緣性非常优越。这些性質使它成为优良的高級潤滑油和变压器油。通常所用的从石油里炼制出来的潤滑油，性質受溫度变化的影响很大，遇冷变得很稠厚，甚至凝固，遇热又变得很稀薄，潤滑性能不稳定。这样的潤滑油就不能用在时而遇冷，时而遇热的机器上，如高空航行的飞

机火箭等。在这种情况下，就需用聚矽油。从石油炼制出来的油在超高电压的变压器油和油开关里不合用，聚矽油的絕緣性能比較高又能耐高溫，不易氧化，不結胶，可以在很高的电压下应用。

和前面談过的聚氟乙烯相类似，如果把氟乙烯聚合成聚合度低的聚合体，就得到一种沸点高凝点低的液体，名叫氟碳化合物。它对一切化学試剂如强酸、强碱都很稳定，不怕氧化。它对人无毒，对金属沒有腐蝕作用，比热也很大。因为具有这些性質，它們是非常优良的热工介質。所謂热工介質就是利用来做热的交換媒介物(吸热放热)，比如在冷藏庫和蒸汽机里用的液体。氟碳化合物比水、水銀等热工介質在性能上要优越得多，但是因为价格比較高，还沒有大量应用。

3.胶合剂：我們平常用浆糊粘紙，用牛皮胶粘木片，这些都是利用高分子化合物(淀粉和蛋白質)做胶合剂的。差不多所有的高分子化合物都可以做胶合剂。最好的胶合剂是在应用的时候是綫型的液体，而干了以后变成立体型的固体高分子化合物。这样就可以粘得很牢固。

制造三合板也用高分子胶合剂，在这里用得最多的是天然蛋白如大豆蛋白和乳酪蛋白。酚醛和胺醛也有应用。

胶合剂的新用途是胶合金属。优良的胶合剂如甲醇胶等，它可以把二根鉄棒胶在一起。在用大力拉它的时候，鉄棒的其他地方可以被拉断，但是胶合的地方不断。用它来胶合鋼板，可以和电焊、鉚接一样的牢固。胶合的工序又远較焊和鉚方便的多，可以大大的节省劳动力，并且可以用在不能焊和鉚的地方。現在高分子胶合鋼板已經用在飞机和船的制造上。它們并不怕水也不怕油，缺点是不能耐高溫。还有

一类叫聚亚胺酯的高分子化合物，也是非常好的胶合剂。它們不但可以胶合鋼和鋼、鉄和鉄，它們还可以胶合不同的金属。不但可以胶合金属和金属，还可以胶合金属和橡皮，金属和玻璃，金属和磁器，金属和木材，以及橡皮、玻璃、磁器、木材等等的相互胶合，这些是电焊和鉚接所不能担負的任务。

从以上的一般介紹和一些具体范例的叙述中，我們可以很清楚地看出高分子化合物在建設現代化的工业、农业和国防工业上，以及发展国民經济丰富人民物質和文化生活各方面的重要性。也看出高分子化合物材料的制造不受資源的限制，它們的性質又有多种多样的变化，它們的加工成型不但方便，而且节省工时，制出的产品又是价廉物美的。因此，我們必須尽快地把各种各样的高分子化合物制造工业建立起来，为各种工业准备必要的和优良的材料。我們还要进行高分子合成方法簡单化的研究，使工农大众都可以掌握。如果能够在全国范围內，乡乡社社都可以就地取材，制造高分子材料，那对我們完成社会主义工业化，提高生活水平都可以大大地加快速度。

同时高分子化学这門科学随着工业对理論指导的要求，在最近一二十年內，得到了蓬勃的发展，它已經成为一門新兴的独立的科学。它和无机化学有机化学等一样已成为化学的基本学科之一。为了能够自行解决在我們国家內建立和发展高分子工业的过程中所将遭遇到的实际問題，我們也必須在理論方面大力开展研究工作，使得我們在这門科学上能有所貢献，并在最短时期內逐步接近和赶上国际先进水平。

采矿、选矿和冶金方面的一些新成就和問題

李薰

一、緒論

采矿、选矿、冶金实际上都是为了一个目的，这就是把地下的資源拿出来供給人类应用。在工业原料中最重要的矿产要算金属和煤了。工业中所需要的金属种类是很多的，大致可以分为四类：

1.黑色金属，主要是鋼鉄。近代工业的发展，主要是建筑在鋼鉄生产的基础上的。

2.有色重金属，可以举銅、鎳、鉛、錫等来做代表。这一类的金属用途也很多，譬如鎳是合金鋼中的一个重要組成元素，銅是电机工业中的重要材料，鉛及錫用来做低熔点合金和高速机械軸承等等。这些金属的用途虽多，但来源有限，产量并不太大，一般的講，它們的总产量通常只有鋼产量的5%左右。

3.輕金属，以鋁和鎂为主。鋁和鎂的資源是很丰富的，按重量計算，地壳中的鋁比鉄还多，而鎂大約相当于鉄的一半。随着生产技术的改进和电力来源的扩大，鋁鎂的生产成本不断降低，它們的用途早已超出了航空工业的范围，譬如用鋁綫代替銅綫做电纜，用鋁鎂合金代替鋼做車輛和輕便桥梁的結构材料等等。由于上述原故，鋁和鎂的产量在目前已經和有

色重金属的产量相差无几了。

4.稀有金属。这一类的金属总共有几十种，其中有些元素在地壳內的含量确实很少，但也有若干元素从它在地壳中的含量来看并不稀有。譬如，鈦在地壳中的总量比碳还要多70%，鋯、鎵等比我們所熟知的銀、金等要多十倍、百倍，稀土元素中的鑭族金属存在于地壳內的总量和銅不相上下。不过这些金属有的熔点高而且极易被氧化，有的分布很散沒有比較集中的矿床，因而长久未被发現，有的彼此性質很相似因而难于分离。由于上述种种原因，过去在很长的一个时期內沒有加以利用，也沒有进行大規模开采和提取，因而它們得到了"稀有"的称号。近几十年来，这一类金属的用途随着新技术的发展而日益广泛，它們的重要性可以从下面几个例子来說明。原子能的利用除了依靠鈾、釷等做原料以外，还需要許多具有特种性能的金属譬如鋯和鈹。半导体的制造在目前主要依靠鍺，电子仪器中还使用着錮、鎵、鉈、鈮、鉭、鎢、鉬、鍊、鋰等稀有金属或它們的化合物。超音速飞机的制造需要用鈦来代替一部分鋁鎂。其他方面的例子还多，高强度合金鋼、耐高溫合金和其他具有特种性能的材料的发展都是和稀有金属的应用分不开的。在目前，世界上稀有金属的用量也是以成千上万吨来計算了。

現在簡单地講一講煤。大家都知道，煤是冶金、化学工业和动力工业中不可缺少的原料。近年来，虽然水力发电和原子能的利用有了很大的发展，但并沒有降低煤的重要性，苏联第六个五年計划要把煤的产量从391,000,000吨增加到593,000,000吨就可以証明这一点。在地下資源中，固体燃料的埋藏量超过99%，而石油的埋藏量则少于1%。其中烟煤又占固体燃料的75%以上，它的重要用途之一是用来做冶金

焦，同时也是气体燃料和化学合成原料的重要来源。用来做冶金焦的煤，为了减少其中灰分和硫分，一般要經过洗选，对于炼鉄来說，这是极其重要的。如果焦炭中的灰分降低1%，炼鉄过程中造渣所需的石灰石消耗量可以減少4%，高爐的生产能力可以增加2.2—2.3%，而焦炭的消耗也可以降低2.2—2.3%。生鉄中的硫大部分是从焦炭中来的，因此降低焦炭中硫分对于保証生鉄質量起着重要的作用。从煤的用量，用途和特性上，可以了解为什么采煤选煤在整个采矿选矿工业中有它的独立地位。

地下的矿产資源是有限的。有許多品位高而靠近地面的矿床早已被开采利用了，但工业发展的規模仍然是在不断地扩大，金属和煤的产量也相应地在增加，在这种情况下，只有在科学技术不断进步的条件下，才能保証原料的供应。科学技术的进步不但可以扩大工业原料的来源和范围，同时也加速工业建設的速度。下面做扼要地介紹采矿、选矿和冶金等方面的一些科学技术情况和問題。

二、采　矿

我們对采矿工业的基本要求是：作业安全；劳动生产率高；采矿成本低；有用矿物的损失率小；尽量避免围岩废石掺杂到矿物中去，可以提高成分，减少选矿上的困难；并且不断增加开采深度来扩大矿产資源。在行进采矿工作中，一方面必須針对矿床本身的特点和它的埋藏条件选择最适当的采矿方法，另一方面要依靠机械化和自动化等技术的发展，这两方面要配合得好，才能达到上述目的。

开采矿床的方式主要有两大类：露天开采和地下开采。露天开采的优点很多，譬如：劳动生产率大，通风和安全的

問題少，可以不用坑木支撑，工作空間不受限制因而能够使用任何大小的多种多样的机器設备等等。对于大的矿床如厚煤层、大鉄矿等来說，应当发展露天开采。就采煤而論，苏联的露天煤矿比地下采煤的劳动生产率几乎要高到5倍，而成本要降低71.5%。随着强大的采矿机器設备的发展，露天开采的深度还可以不断提高。在苏联，埋藏在500米深处的大矿床（采剝比达14）已經用露天开采法了。我国也已經运用露天开采法来开采煤矿、鉄矿和有色金属矿。露天开采所用的大型电鏟，它的鏟斗的最大容量在美国达到了46立方公尺。就砂矿来說，世界各国广泛使用着采金船和水力开采两种方法。

在采金船方面，世界最大的采金船的鏟斗容量在1945年已达到500公升，挖掘深度达40米。采金船把采矿选矿連起来作为一个联合流程，效率很高。苏联一只船每年能处理2,500,000立方米的砂矿。

地下开采的情况远比地面复杂，为了安全和迅速，机械化和自动化更是重要。拿煤矿来說，近代的高效率的开采方法是用联合采煤机，苏联目前已經有了1,240台联合采煤机在各个矿井中工作着。最新型的联合采煤机，是用一种"巨型鉋"把煤成大片地鉋落下来。联合采煤机的型号不只一种，有采薄煤层的，也有适用于緩斜或陡斜煤层的，它們的构造都不相同。苏联还正在創造一种井下采煤的新式联合机，这种机器将使主要的采煤过程包括开采、运輸和支架、完全自动化。在水源充足的地方，可以利用水力采煤，这在苏联已經得到了大規模应用。我国目前不但能运用水力采煤技术，并能自己設計水力采煤矿井。我国第一个开灤唐家庄矿水力采煤矿井已于1958年7月底正式投入生产。而峰峰水力采煤矿

井也相繼投入生产。水力采煤区1958年底将达到四五百个。这标志着我国煤炭工业进入了新的时代。这种方法是用强大的水泵，将水从地面上，沿着鋼管，压送到煤井下距采煤工作面不远的水力冲击机中。水从冲击机的噴嘴里噴射出来，冲击煤层，使它破碎。破碎了的煤順着巷道的斜坡流出来，或者靠压力把它送出。水力采煤的劳动生产率比高度机械化的矿井还要高3—5倍，采煤成本可降低40—50%。由于这种原因，苏联第六个五年計划明确地指出，水力机械化是煤矿工业机械化的主要发展方向之一。我国也确定以最高速度发展水力采煤，为今后煤炭工业技术发展的主要方向。一般說，25—30个大气压的水力足以使煤层破碎，而苏联正在試驗用100—150大气压的水流来破碎岩石，由此可以看出水力应用在采煤工业中的发展前途。对于劣質煤或极薄的煤层，挖井开采很不合算，苏联从1932年起就开始研究煤的地下气化問題，想通过鑽孔把空气鼓入地中，使煤层在地下着火燃烧，变成气体再引到地面上来应用。一直到現在，有若干关鍵还沒有得到很好的解决，譬如，如何控制地下的燃烧带，如何控制煤层气化的程度等等都存在着困难、这些問題还在繼續研究中。

金属矿的种类多，矿体形状和分布一般都很不規則，而且它比煤层硬，因此地下开采問題也就比較复杂。总的說来，我們目前对于緩傾斜矿床的合理开采方法还沒有摸到一定的規律。譬如，对于某一种矿来說，究竟要隔多远留一根矿柱，矿柱需要多大，才能又安全又节約，都还沒有統一的看法。在开采极薄矿脉方面，目前的办法是一边开采一边充填，用这种方法很难做到很高的劳动生产率，但还沒有其他更好的方法。可以这样說，近年来金属矿地下开采的进展主要表現

在工具和技术的改进方面。利用新型鑽机和硬質合金鑽头，鑽炮眼的深度和速度都大大提高了。苏联等国都采用深孔凿岩，穿孔的深度可达30公尺，一次爆破可崩下几千吨甚至几万吨矿石。在矿床条件允許的情况下，利用深孔爆破使矿物大量崩落，可以提高采矿劳动生产率2—3倍。掘进設备的改进和輕便的金属支架或預制构件的应用，使矿井掘进速度大大增加，某些国家已出现平巷月进870公尺的記录，竪井月进速度也达到了250公尺。除了掘井以外，还有鑽井的方法。这个方法好象地質鑽探取样一样，先沿着井的周围鑽下去，然后用吊車起重取出岩心，或用其他方法将岩心破碎，用水力冲出，就形成了一口井。

掌握岩层的物理性質，掌握矿山中的压力分布和开采过程中上部岩层压力的变化情况，才能选择最有效的采矿方法。这就是說，我們知道如何选择最短的路綫开井，如何进行最有效的爆破，如何利用最少的支撑而能保証安全等等。因此，岩石力学和岩层破坏理論，是采矿学科中最基本的問題，但这个問題在世界各国也没有彻底解决，目前仍在大力进行研究。这方面的知識不仅对于采矿很重要，对地下建筑如开辟地下鉄道之类，也有同等的重要性。

三、选　矿

从地下开采出来的矿石，一般都摻杂着各种各样的围岩或脉石，除了极少数的情况如富鉄矿以外，大都不能直接用来冶炼。并且，在很多情况下，矿石中的有用成分常常不止一种，譬如我国包头鉄矿中含稀土金属，大冶鉄矿中含銅和鉛，中南鎢矿中含銅、鉬、錫、鉍、鈹等，錫矿中含鉛及稀有金属等等。針对这些情形，选矿就是很必要的了。通过选

矿，把围岩或脉石去掉，对冶炼有很大帮助或者使原来不能冶炼的矿石可以冶炼了。通过选矿，把各种有用成分分开，才能充分地利用資源。有許多稀有金属只存在于复杂矿中，也只有在选矿过程中把它分离出来，才能得到。由于这些原因，选矿科学技术在近年来得到了很快的发展。

为了达到选矿的目的，需要先把矿石粉碎，有时还要磨得很細。研磨愈細，选矿成本愈高；如果有必要把矿石粉碎到200篩孔以下，研磨的费用往往占选矿费用的 70—75% 以上。因此，改进研磨設备，寻找新的碎矿、磨矿方法，是极其重要的工作。苏联发展了震动球磨机，这就是把球磨机中鋼球的运动距离縮短，使每分鐘內鋼球的撞击次数增加，这样可以大大地提高研磨效率，降低成本。此外，科学家还正在研究用新的物理原理創造出新的方法来破碎矿石，譬如利用超音波震蕩和高頻电流碎石法。用超音波震蕩的方法来破碎石英，在实驗室內已經試驗成功。这个方法所根据的原理是：在500—600°C的溫度下石英晶体中原子間的結合力最小，把石英加热到这种溫度，再加上超音波的震蕩作用，石英自己就粉碎了。这种現象說明，有可能不用机械的方法使矿石破碎。

把矿石粉碎以后，根据不同的物理性質来把各种矿物分开。开始应用得最早的选矿方法，是根据各种矿物之間有不同的比重，譬如淘金，是在水流冲洗的作用下，輕的砂石被冲走了，重的矿物就留下来了。这个方法最初只适用于較大顆粒的矿石，而顆粒愈大，矿物和岩石的分离程度一般地比較小。近年来，比重选矿方面显著的进步之一，是出現了水力旋流器。水力旋流器的构造很簡单，上部是一个圓筒，下部是圓錐，圓錐下連接着一根管子以便排出矿物。在圓筒边

上沿切綫方向另有一根水管。将磨細的矿粉和水混和，用2—4个大气压力从水管送入水力旋流器內，矿粒在圓筒內旋轉，重的沿着边緣下沉，从下部管子排出，輕的就被圓筒中部水的压力冲向上走，从上部溢出。用这个方法可以处理顆粒小到0.1毫米的矿石。另一利用比重原理是使用重液或重悬浮液，将所要选的矿和杂質分开的选矿方法，叫做重介質或称为重悬浮液选矿法。所謂重液就是比重大的液体，譬如氯化鈣的水溶液比重达1.5—2，二碘甲烷(CH_2I_2)比重为3.3，二碘化鋇和二碘化汞溶液比重是3.5，蚁酸鉈的比重是4.2等等。除了氯化鈣一类的东西用来选煤以外，其余都是貴重的化学药品，成本太高，目前在选矿工业上沒有应用。重悬浮液是将比水重得多的固体如硅鉄、方鉛矿、磁鉄矿等的粉末加入水中，利用机械攪拌造成一种悬浮状态，把它当做重液来用。方鉛矿粉做成的悬浮液，比重可以达到4.3，它的好处是远比重液便宜，因此在工业上得到了比較广泛的应用。适宜于重液或重介質选矿的矿石顆粒一般在50—2毫米之間，个別情况可以小到0.5毫米，再小就不行了。最近有人开始研究在水力旋流器內应用重介質，这方面的工作可能有发展前途。

磁力选矿也是一种常用的方法，但只适用于具有强磁性的矿物如鉄矿、錳矿、黑鎢矿等。有些鉄矿本来磁性較弱，但可以通过还原焙燒或还原—氧化焙燒使它成磁鉄矿。譬如赤鉄矿(Fe_2O_3)在煤气中还原焙燒以后，就能在磁选机中分选，鞍鋼的选矿厂就用这个方法。但还原焙燒需要設备和燃料，因此增加了选矿成本。最近，英国科学家研究成功一种“还原氧化焙燒法”，将天然的赤鉄矿(α-Fe_2O_3)先經过还原焙燒变成磁鉄矿(Fe_3O_4)，然后讓它在400°C以下氧化变成

有磁性的γ型赤鉄矿(γ-Fe_2O_3)。这样做仍然可以满足磁选的要求，但从Fe_3O_4变成γ-Fe_2O_3是放热作用，放出的热可以在焙烧过程中得到利用，因此可以大大地节省燃料或不用燃料。这方面的半工业試驗尙在进行中。

近50年来，应用最广、发展最快的是浮游选矿法，簡称为浮选。这个方法是以矿物表面的物理化学性質的不同为基础的。把矿石磨細，做成矿液，加入少量藥剂，放在浮选机中，然后鼓入空气或其他气体，我們就会观察到有些矿物顆粒、附着在气泡上，随气泡浮上水面，另外一些和气泡不发生作用的沉下去了，这样就可以把不同的矿物分离。在矿液中添加的藥剂統称为“浮选剂”，它可以是一种或好几种藥剂。某些藥剂具有降低液面张力的作用，因此能够帮助起泡，如松油、蓬醇等。某些藥剂是用来改变矿物的表面性質，使天然亲水性矿物变成疏水性矿物，并且帮助矿物粘附在气泡上，如黄藥、脂肪酸、胺盐等。此外还有一些藥剂是用来調节矿液的酸度，活化或抑制矿物表面和藥剂或气泡間的作用，如石灰、苏打、酸类、硫酸銅、水玻璃、氯化物等等。浮选法早已成功地用来分选硫化矿，到目前几乎所有的单金属或多金属硫化矿都可以用浮选法来得到一种或几种精矿产品。在非硫化矿方面，浮选的应用也日益广泛，譬如苏联早日建立了富集赤鉄矿的浮选厂，我国不久也会有同样的浮选工厂投入生产。虽然如此，但某些氧化矿如白鉛矿、錫石、孔雀石、赤銅矿等在目前还很难浮选，它們的回收率低，而矽孔雀石、菱鋅矿之类就几乎不浮。为了克服上述困难，必須研究各种矿物的表面性質，弄清楚在不同条件下藥剂和矿物表面作用的机理，研究不同气体对浮选的影响等等。弄清这些道理，我們就可以想办法对矿物表面进行处理，制造新的藥

剂，改变条件，使不浮的矿物也能浮起来。在苏联已应用放射性同位素来研究葯剂和矿物表面作用的机理，得到了初步結果，这方面的工作正在发展中。

四、冶　　炼

从得到金属做为目的来看，选矿只是冶金的一个重要的准备过程。也就是説，选矿是基本上用物理方法把矿物中有用成分富集起来。要从成分比較高的矿物中把金属提取出来就必須通过冶金过程。下面我想先講一講湿法冶金。湿法冶金就是用水溶液的方法来分离提取矿石中的有用成分，我們知道，一般的矿石都能溶解于酸性或碱性的水溶液中。用这种方法可以解决許多选矿所不能解决的問題，譬如氧化銅矿一般就用湿法冶金来处理，有許多成分复杂的金属矿，目前也广泛应用这种方法。矿石中的有用成分溶解于水溶液以后，就可进一步用电解或者是用沉淀的方法把各种金属分离出来。近年来，在处理复杂矿和低品位矿的問題上湿法冶金得到了很大的发展。

首先是在焙燒方面，将硫化矿或硫化矿和氧化矿混合的細粉放在爐床上加热，在加热过程中从爐床下部以适当的压力鼓入氧气或空气，硫化矿粉就会燃燒起来，由于气流的作用，爐床上的矿将会活跃得象沸腾一样，所以通常叫做沸腾层焙燒。这种焙燒方法效率高而且溫度也容易控制，焙燒的主要目的是为了把硫化矿和氧化矿变成能够溶解于水的硫酸化合物，燃燒所得到的二氧化硫还可以用来做硫酸。这样，在进行湿法冶金时不但不另外消耗硫酸，而且还有过剩的硫酸作为副产品。我国已于1956年开始进行沸腾焙燒的大型試験，首先在硫酸生产上开始采用，后来在炼鋅方面正式采

用，效果非常好，在炼銅方面也已开始大型試驗。我国已很快掌握了沸腾焙烧的技术，并且得到了新的发展。无疑的，在积极开展有色冶炼的技术革命中，沸腾焙烧更会显出它的优越性。另外一个新发展就是利用高溫高压浸出的方法。这个方法是利用下面的物理化学原理：我們知道，金属在酸或碱的水溶液中的溶解度是随温度压力而变动的，假如有两种金属在常溫常压下溶解于酸的程度差不多，就很难在这种条件下把它們分开；但是，它們在酸中的溶解度随溫度压力变化的情况不会一样，因此改变溫度和压力就能够促进两者的分离。高溫高压浸出的方法还有許多其他优点，譬如，溶解速度加快，化学反应进行得更彻底等等，对于提高作业效率和金属的回收率都有直接意义。进行高溫高压操作的設备叫做高压釜，在高压釜中将氢气通入含銅的水溶液中可以制造出銅粉，而且容易控制粉末的顆粒大小。在高溫高压浸出时所用的溶剂当然不限于酸碱水溶液，随着物理化学原理的发展和新溶剂的出现，这种方法应該有广闊的前途。

火法冶金方面的新发展在鋼鉄工业中表現得比較突出。爐子容积的增大和自动化是一种普遍趋势。爐子容积的增大带来了新的科学技术問題，譬如高爐爐身的提高使焦炭承受的載重負荷增加，于是对焦炭强度的要求也就更高了。在高爐操作方面，广泛推广的是在鼓入高爐的空气中加入水蒸汽，苏联采用这个方法使大型高爐的产量提高7—10%。另一新发展是在高爐上使用高压爐頂操作，这就是增加高爐中頂部的瓦斯压力，苏联有許多高爐爐頂压力达0.6大气压。高压操作使爐况稳定，瓦斯灰减少，能提高生鉄产量6.3—9.4%，降低焦炭消耗量2.1%。物理化学原理指出，增加爐內气体压力可以使硅开始还原的溫度升高，因而使生鉄中的

含硅量降低，含硅低的生鉄用于碱性平爐炼鋼是有利的。上述爐頂压力(0.6大气压)并不算高，目前是向更高的压力发展。利用更高的爐頂压力并結合其他措施，不但可以进一步提高生鉄产量，而且还有可能找到不必經过选矿而直接冶炼貧鉄矿的方法。我国貧鉄矿在鉄矿儲藏量中占的比例很大，値得在这方面进行研究。应当指出，高爐結构必須加强，鼓风設备必須改进，才能采用高压爐頂操作。

最近，我国全民办鋼鉄工业，各地大搞土高爐炼鉄，取得了巨大的成績。比如山西以无烟煤代替焦炭炼取白鉄，以冷风代替热风炼取灰生鉄，以及湖南等省的矮高爐（有效容积4.25立方米）等等，都是了不起的創造，也应該看作冶金工业上的新成就。当然，我們还需要进一步总結和研究这方面的經驗技术，以提高土高爐的产量。我国有世界第一流的高爐，也有成千成万的土高爐。事实上，“土洋并举”“大中小型相結合”，正是加速发展我国冶金工业的一条捷径。

在平爐、电爐炼鋼过程中向溶池吹入氧气，在近年得到了迅速的发展。苏联經驗証明，平爐鼓入氧气可提高鋼产量21%，个别小平爐甚至提高70%，燃料消耗一般可以降低約15%。电爐用氧可提高鋼产量15—25%，节省电力30%以上，并降低电极的消耗量。氧气炼鋼使爐頂溫度負荷加大，必須使用优質耐火材料。我国缺乏鉻鎂砖的原料，但可以发展具有热稳定性的鋁鎂砖来代替鉻鎂砖。

最近几年出現的頂吹式轉爐氧气炼鋼給炼鋼工业带来了一个新的发展前途。这个方法最初是在奥地利試驗成功，很快地就发展到其他国家。它和旧式轉爐不同的地方在于吹炼的方式和純氧的利用，氧气是从轉爐口用水冷的管子向鋼液表面噴射，而旧式轉爐是以底部或两側的开孔把空气或富氧

气体吹入鋼液。在爐子的构造上这种新式轉爐反而簡单，可以做得很大，目前已有60—70吨的爐子。由于用純氧的結果，用来炼鋼的生鉄成分不象过去一样受到限制，而且允許摻用废鋼到15—30%。苏联两个工厂中，用9—10吨和13—16吨的頂吹式氧气轉爐做炼鋼試驗，結果与平爐鋼的質量相近。在国外有些鋼厂先用頂吹式氧气轉爐吹炼，再将鋼水倒入电爐中精炼，这就是頂吹式轉爐到电爐的双联法。据說，这些工厂的投資只有相同产量的平爐厂的一半。

近来还有一种鉄水包吹氧炼鋼的新方法。它是利用鉄水包代替了結构复杂的炼鋼爐，設备簡单，操作方便，而炼出鋼的質量也高。我国已試驗成功两种鉄水包吹氧炼鋼法，一种是利用傾斜滚筒式鉄水包，它的优点是用耐火管代替了鋼管，吹炼时不用消耗鋼管，另外則是利用手抬式鉄水包，构造簡单，价格低廉，容量不超过500公斤，完全适合中小型企业，这对我国全民办鋼鉄工业更有价值。

連續浇鑄鋼錠也是一种最先进的生产方法，目前世界各国都在繼續研究这个方法，企图把生产率更向前推进一步。連續鑄錠的优点很多，而下述两点的經济意义最为明显：(1)采用連續浇鑄的鋼錠可以不經过初軋机或管胚机而直接軋成成品，因此可以免除鋼錠加热用的均热爐，减少鑄錠車間面积，节省投資；(2)連續鑄錠使切头尾率从15—25%降低到2—3%，因而大大地减少每吨产品的金属消耗量，并且，連續鑄錠使操作过程簡化，从而縮短生产周期，降低生产费用，据初步估計，就半成品来說，采用連續鑄錠可以减少生产费用10%左右。要建成生产率高的連續鑄錠設备必須解决許多科学問題，譬如在連續浇鑄或快速冷却条件下的鋼液結晶动力学的問題和若干自动控制問題等等。我国各地鋼厂也

在設立这种設备，除了直立式連續澆鑄外，最近，还試制成功了臥式連續鑄錠机。它象苏联的傾斜式的連續鑄錠机，也是横臥在地面上，而且用冷水来进行冷却。它不象立式那样高达数十公尺。由于它所占地面很小，同时机械結构也簡单得多，这些就使得基本建設的費用降低很多，基建时間也可大大縮短，生产过程也比較安全可靠。因此它对发展多錠式連續鑄錠机也有很多有利条件。

合金鋼的发展和鋼錠鋼材尺寸的增大，以及許多容易被氧化的稀有金属的溶炼，使真空技术工业中应用的规模日益壮大。近年来科学研究工作証明：鋼中含气体过多就会影响鋼的質量，特别是合金鋼含氢气过多更容易发生內部裂紋造成废品，这种現象随鋼錠鋼材尺寸的增大而更加严重。为了去除气体提高鋼的質量，在国外已經大規模地在澆鑄过程中采用真空处理，譬如德国早就用真空处理过150吨重的大鋼錠。我国南部气候湿热，而水电的发展将使我国电爐炼鋼产量大大增加，但用电爐在湿热的气候下炼出来的合金鋼，气体的含量可能更高。为了預防上述情况发生，就应当更注意发展真空处理的問題。另外在湿热地方金属材料的腐蝕問題也更严重，这方面的研究工作也应該开展起来。某些重要的稀有金属如鈹、鋯、鈦、鎢、鉬等等，需要在很高的真空中进行熔炼和鑄造。我国有关的部門应該注意研究并制造这种高真空装置，才能促进稀有金属工业的发展。

大家都知道，世界工业技术的发展是走向更高的溫度、更大的速度和更高的压力，要求有强度更大的、耐磨損、耐高溫，能抵抗氧化和腐蝕的金属材料和特种材料，合金鋼、高溫合金，硬質合金以及金属和陶瓷混合做成的材料的发展就是为了适应这种要求。在合金鋼中，合金結构鋼由于强度高

所以是制造各种动力机械所必需的材料，因此用量最大，它的产量約占鋼的总产量10%。不銹鋼也是很重要的鋼种，能抵抗腐蝕，也可以用于650°C以下的高溫在化学工业設备制造方面用得較多。在高溫合金方面，目前用得最多的是以鈷为主或鎳为主的两种合金，它們是航空工业不可缺少的重要材料。这两种合金的长期使用溫度还不能超过930°C,因而限制了燃气輪的发展。因为燃气輪的效率是随着溫度的增高而增加的，如果要求燃气輪的热效率超过內燃机，就必須寻求能耐更高溫度的金属材料。至于金属和陶瓷或其他化合物的混合制品，也可能有很大的发展前途，但还有待于进一步的研究。

鎳、鉻、鈷等元素是合金鋼和高溫合金中的重要組成部分，鎳和鈷也用于硬質合金和金属陶瓷制品中作为粘結剂，但我国目前已經发現的这类矿藏还不足。所以利用我国比較富裕的元素如硼、鉬、鎢、釩等来发展合金鋼来节約鎳、鉻、鈷等是很必要的。我国的稀土金属的儲量丰富，如能解决大量生产的問題，除了其他用途以外，对于发展合金鋼和高强度的鋁鎂合金将会有很大帮助。此外，我国产銻丰富但使用不广，如何扩大銻的用途也是目前存在的一个科学問題。

世界各国都在从高熔点的金属中寻找更新的高溫金属材料。鈦是其中的一种，但鈦在高溫很容易被氧化而且生产成本很貴，因而限制了它的用途。目前提炼鈦的最好原料是金紅石，我国尚未发現大量的金紅石而不得不从鈦铁矿中提鈦，但这种提炼方法会使鈦的成本更高。鎢和鉬的熔点比鈦还要高得多，也是因为不能抵抗氧化而大大地限制了它的用途。針对这种情况，科学工作者一方面是从高熔点金属的合金方面想办法，另一方面则是研究这些金属或合金的表面处

理方法，希望制造出一种抗氧化而能密切粘附在金属表面的保护层。

以上所講的許多冶金方面的問題归根到底都牵涉到物理和化学領域中的一些基本理論，譬如，我們需要准确地知道原子和原子、分子与分子之間的力的作用，才能掌握物質結构和性能的关系，才能預見或控制冶金反应的詳細过程。

在建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，全国人民解放了思想，破除迷信，大胆独創；而冶金工业已在全国遍地开花。我們相信，在冶金方面，跟在其他科学技术部門一样，我們必定能掌握、运用和发展一切新成就，并很快地赶上和超过世界先进水平。

（本文发表时間較早，而作者无暇修訂，仅經編者参照較近的一些資料略加删改）。

放射性同位素的应用

一、放射性同位素的簡单介紹

在和平利用原子能的領域中，人們对于原子能发电站、原子破冰船、原子能火車等有关于动力方面的应用，都知道得比較多；可是对于放射性同位素的应用则比較陌生。事实上，原子能动力和放射性同位素是和平利用原子能的两个主要方面。而放射性同位素应用的面非常广泛，在工业、农业、医学和科学研究各方面都需要它，而且能起重大的作用，可以說是現代科学技术中一件不可缺少的犀利武器。

1.什么是放射性同位素

我們知道，地球上自然物質是由九十二种元素构成的。构成每一种元素的最小单元就称为那种元素的原子。原子的質量，通常是和氧原子質量的1/16相比較来测定的，叫做原子量。有的元素的原子質量都是相同的；而有的元素是由两种或两种以上不同質量的原子組成。这样，原子量不相等的同一种元素即称为同位素。人工方法制造同位素的技术发展以后，各种元素都找到好多种新的同位素（即本来在自然界里沒有的同位素）。这些人造新的同位素都是不稳定的，它的原子核会放射出某种粒子或电磁輻射、而衰变成另一种的同位素，因此又叫做放射性同位素。但是放射性同位素幷不只限于人工方法制造出来的；天然的原子量比鉛重的同位素，差不多全部都是放射性的，比鉛輕的也有少数是放射性的。

天然放射性同位素的总数目，要比人工放射性同位素的总数目少好几倍。而且有好多种天然放射性同位素，同样的可以用人工方法制造。因为人工制造同位素的方法在天天进步，同位素的总数就随着不断增加。到目前为止，同位素的总数已經超过一千种，其中稳定的同位素只有273种。

一种元素既有稳定的又有放射性的同位素，那末怎样用简单的符号来区分它們，就很有必要了。一般是在元素的名称后面紧跟着写上原子量的数字值来区别的。例如碳12和碳13是碳的稳定同位素；碳11和碳14則是碳的放射性同位素。鈷59是鈷的唯一稳定同位素，而鈷56、鈷57、鈷58、鈷60等則是放射性同位素。

2. 怎样获得放射性同位素

天然的放射性同位素存在于矿石中，主要的是含鈾的、含釷的和含鋼的矿石。每一种矿石都共存着好多种放射性同位素，例如有名的鐳226，氡222和釙210等，都是在含鈾的矿石中提炼出来的(釙210也可以用人工方法制造)。人工放射性同位素則要借助于反应堆和加速器来生产。反应堆制造同位素的工作原理是，应用鈾裂变所放出来的中子来照射物質，使它发生核反应，而变成具有放射性的物質。加速器制造放射性同位素的工作原理，則是利用被加速的带电粒子(如質子、氘核、氦核以及其他較重的离子)轟击物質的原子核，使它发生核反应而变成放射性的。用反应堆来生产放射性同位素比較經济而且方便，尤其是那些吸收慢中子而生成的放射性同位素如鈷60、鈉24等。有些放射性同位素则利用加速器来生产比較方便。这次苏联无私地协助我国同时建造一个反应堆和一个回旋加速器，从生产同位素的角度来看是具有重大意义的。除了反应堆和加速器之外，反应堆的"燃烧

后"的鈾棒的裂变产物里，也可以分离出好多种的放射性同位素，如鈍同鍶90等。实驗室利用中子源的活化法，也可以得到数量极微的放射性同位素。

3.放射性同位素的性質

前面已經提过放射性同位素要从原子核里放射出带电粒子或电磁射綫，这样的放射过程叫做核衰变。放射出来的带电粒子可以分为甲种射綫，（又名α粒子，α讀作"阿法"），它是和带有两个正电荷的氦原子核相同；乙种射綫（又称β粒子，β讀作"培他"）是和带有負电荷的电子相同的；正的乙种射綫(又称β^+射綫)，是和带有正电荷的阳电子相同的。从核里出来的电磁輻射，則称为丙种射綫（又称γ射綫，γ讀作"伽瑪"），它是和X射綫的性質相同的。一种放射性同位素在衰变时并不是所有的每个原子核都同时衰变，而只是有一部分的原子核在衰变，在开始时具有放射性的原子数較多，因此每一单位时間內衰变的原子数較多，以后放射性原子的总数漸漸少了，衰变的原子数也随着按比例减少。所謂放射性同位素的半衰期，是指在单位时間內的衰变数减少到只有原来的一半时所經过的时間。每一种放射性同位素的半衰期的长或短，和放射出哪一种射綫，是这一个放射性同位素的固有特性，到現在还沒有发現能用外加的原因来予以改变。例如磷32放射乙种射綫，半衰期为14.3天；鈷60放射一个乙种射綫和两个丙种射綫，半衰期为5.2年。人們不能够使磷32的半衰期增长，也不能够使鈷60放射甲种射綫。此外，每一种放射性同位素的射綫，也有着它的固有的能量，使用时，如何挑选合适的同位素，就是靠这些性質来决定的。

甲、乙、丙三种射綫的性質是不相同的，就对于物質的穿透能力来說，甲种射綫最差，一张紙就可以把它挡住；乙种

射綫则要几个毫米厚的鋁片才能挡住它(随能量而变)；丙种射綫最强，虽然用几厘米厚的鉛片来挡也还会有一小部分穿过。这三种射綫通过物質时，特别是通过气体物質时，都会引起电离作用，电离的能力以甲种射綫最强，乙种射綫比甲种射綫約弱100倍；丙种射綫最低。这三种射綫对于照相底板都会引起感光作用，其中以丙种射綫的性質和X射綫最为相似，可以代替X射綫来使用；它們射到熒光体上时，可以使其发光。因为射綫具有这許多性質，所以人們就有办法来探测它們。掌握探测射綫的技术和明了各种射綫的特性之后，就有可能来应用放射性同位素到各方面去解决各种各样的問題。

关于放射性同位素的应用，原則上可以分为两大类：第一类是利用放射性同位素的射綫；第二类是利用放射性同位素的示踪作用。

除了以上两大类外，中子也被广泛地应用到石油探井和活化分析中。中子是不带电的粒子，当它通过物質时不会引起电离，因此它的穿透力非常强。中子会和物質起核反应而放出丙种射綫。这种丙种射綫的能量和发生几率是随着被作用物質的不同而改变的，使用中子时，就是利用它这个特有的性質。

4.使用放射性同位素时的安全防护問題

放射性同位素所放射出来的射綫和中子源所发射的中子，对于人身都是有害的。工作人員如果不注意地或者意外地受到过量的照射，都会引起程度不同的症状，即所謂放射病。輕的会感到头暈或呕吐等，重的会引起白血球降低，全身疲乏无力、头发脫落、指甲脫落等。局部的超量照射則会引起皮肤、肌肉、組織的損坏。但是这些由于超量照射而引起的

放射病完全是由于不注意、不小心而产生的，如果能够注意安全防护，那末使用放射性同位素絕不会引起上面所說的各种病状。关于安全防护应該采取如何措施才能得到保証的問題，可以參閱有关安全防护的資料，这里只能介紹一些要点：①使用放射性同位素的工作人員对于所使用的放射性同位素和各种射綫的性質，应該有着明确的了解；②应該熟悉探測射綫的技术，熟悉使用測量剂量的仪器；③在操作放射性同位素时，必須在合乎防护要求的实驗室內进行；④尽量使用长距离的工具，不可用手和放射性物質直接接触；⑤工作人員在操作放射性物質时，必須佩带剂量胶片或个人剂量計，在操作之后，必須用輻射仪器检驗手部及衣服有无污染或作全身检驗，經常工作的人員必須作定期的健康检查；⑥被放射性物質沾污的器具紙片等必需按照規定办法处理，不可随便放置；⑦在使用时，放射性物質必須装在容器內或者有一层薄膜和外界隔离，以免意外脫落时引起污染（电鍍的例外）；⑧完装在成套装置上的放射源，必須有适当的屏蔽，或者有适当的隔离使人身不易靠近它；如果因工作需要必需工作人員靠近放射源时，则应該掌握工作时間，使所受的剂量不超过容許的剂量(容許剂量为每天50毫伦，或每星期300毫伦)；⑨不用时的放射源必須放在鉛罐或鉛盒內，并且有明显的放射性标志，使用放射源的房間应該在門口画有放射性的标志。如果能够依照上列各点来工作，即可以避免由于使用放射性同位素而引起的人身損害。当現在全国范围內推广使用放射性同位素的时候，我們首先应該注意到安全防护問題，以避免因麻痺大意而引起的不良后果，但也不应該过于胆小怕事，对放射性同位素存着害怕的心理。我們应該了解它的性能，掌握它的規律，而大胆地使用它来为发展我国的

国民經济服务。

二、放射性同位素在工业上的应用

放射性同位素在工业上的应用是多种多样的，由于射綫的特殊性質，放射性同位素解决了工业上許多用别的方法很难解决的問題。它在工业上的应用范圍非常的广，重工业方面如矿冶机械，輕工业方面如紡織造紙都要靠它来解决一些或大或小的关鍵問題。放射性同位素在工业上的广泛应用，将会大大促进我国技术革命的速度。下面所介紹的是放射性同位素在工业上一些应用的具体內容。

1.地質探矿，石油鑽探

对于勘探鈾矿和釷矿的方法，可以利用鈾、釷等是放射性物質而采取放射性勘探的方法，只要配备着γ射綫（丙种射綫）探測器(手提的，安在汽車上的，或装在飞机上的都可以)，一到矿区，探測器的計数就增加起来。用这样的方法来找鈾、釷矿是十分方便，有条件发动全国人民来找矿。測量天然放射性γ射綫，也可以应用到测井方面，即所謂γ探井，在石油工业的鑽井勘探方面，使用的有中子、γ探井和γ、γ探井两种方法。仪器的构造为一根長約2米的圓管，管內一头装上γ放射源，鈷60或中子源另一头則安装γ射綫探測器，在源和探測器之間用屏蔽物挡住，使探測器只能測量由于散射而来的射綫。因为各种不同元素对于γ射綫的散射，或对于中子的吸收而放射γ射綫的能力是不相同的，所以当仪器向井內下降时，探測器所測到的γ射綫計数将随着井壁岩层物質的不同而变动，把γ射綫計数和岩层离地面深度的关系繪在图紙上，則得到一条弯弯曲曲的曲綫。經过有經驗技术人員的分析，就可以清楚地測定含水层和石油层的

位置。我国鑽井勘探方面已經广泛地采用这个技术，并取得了相当的成就。

2.冶金工业上的应用

放射性同位素在冶金工业上的应用可以以炼鋼工业为代表。它被应用到下列各方面：

(一)高爐爐壁損耗的測定　　高爐的爐壁經过使用一个时期之后，将逐漸变薄而需要及时加以修理。但高爐是日夜运行的，如果要检查爐壁是否已經到了应該修理的阶段，就相当困难。要是在爐壁的适当深处安上适量的鈷60放射源，当爐壁腐蝕到放射源的地方时，放射源熔解到鋼水里，因而爐壁外部正对放射源的地方，便測不到如前一样强的計数，这时就可判断出爐壁已到該修理的时候。

(二)平爐合金鋼的匀和时間　　用平爐冶炼合金时，在合金材料加入之后，須經过多少时間方能均匀分布到全爐，是决定每爐冶炼时間的关鍵問題。以前因沒有方法測定，只好等待一段較长的时間，才認为已經达到均匀程度。現在可以将一些放射性同位素加到合金材料里边，然后从爐中不同地方取出試样。如果各处試样的放射性强度相同，显示出合金已經均匀分布。用这样方法測定十分可靠，从而能大大縮短冶炼时間。

(三)鋼水中杂質的快速分析　　开始时在鋼水里加入放射性硫(或放射性磷)，并測定硫(或磷)的含量。以后只要取出样品，測量其放射性，即可以断定所含的硫(或磷)是否已經降低到預定的含量以下。

3. γ 射綫探伤

应用鈷60的 γ 射綫(或其他同位素的 γ 射綫)，可以检查金属鑄件、鍋爐的鉚接以及各种金属管，金属板的焊縫，并

能够发現金属內部有无沙眼、气泡和裂痕等。γ射綫探伤的原理和X射綫探伤的原理是一样的；不过它的能量比X射綫高，能够穿透較厚的鋼板，而且无須用高压电源，携带比較方便，还可以放到被检查容器里边进行检查。γ射綫探伤，在保証产品的質量和提供改进产品缺点的資料方面，是起了一定的作用的，此外，γ射綫探伤对于检查旧設备旧配件，来找出毛病，及时修理或更換等方面，也做出重要的貢献。我国水利电力工业部，应用γ射綫探伤技术，四年来进行了一万多次的检驗工作，解决了不少技术上的問題，其中最多最突出的是对于鍋爐的檢驗工作。有次，一电厂要将鍋爐大修，当用γ射綫探伤检驗时，发現鍋爐并沒有毛病，不需进行大修，因此就减少了因大修所引起的停工損失和人力物力的浪費。另一次，别一个电厂用γ射綫探伤检查鍋爐时，发現有裂紋，就及时加以修理，避免了可能发生的鍋爐爆炸的危险。

4.煤井里的安全裝置

利用放射性同位素的γ射綫，以及一套計数管和繼电器的电路，可以保持住煤井里装煤管道的煤块高度，以保証通风系統的正常工作。象这样的装置对于原煤的生产虽然沒有直接关系；但是从保証安全的角度来看，还是具有重大意义的。

5.磨損的研究

在机械工业里，机器零件（如活塞、活塞环、齿輪、滾珠、軸承等）和切削工具的磨損的規律性，是一个重要的研究課題。用通常的方法来进行磨損的研究是有困难的，因为在操作过程中，零件每一次所受的磨損，甚至每一天所受的磨損，都是十分輕微，而很难得到精确的測量。应用放射性同位素

的射綫，人們有办法測量小到10^{-12}克的微量东西，这就使研究在操作过程中零件的磨損情形成为可能。方法是用电鍍法(或其他方法，如活化法、扩散法等)，把放射性同位素加到要研究的金属零件的表面。零件动作时，表层因磨損而脱落的物質即跑到潤滑油里。測量潤滑油的放射性，并随时記录，即可以了解磨損的情形。

6.水泥工业上的应用

煅燒水泥的回旋窰是一个直徑在1米以上长达数十米的大物，物料在窰內运动情况和分布状态，在外面是无法知道。但是正确地了解这几个因素，对于改进窰的設計和提高生产率是有决定作用的。利用放射性同位素的示踪作用和射綫的穿透作用，使上面所提的几种測量成为可能。在水泥研究院的应用放射性鈷的初步工作中，已完成了下列三項的試驗性測量：（1）应用鈷源随同物料的运动，測出物料在窰內运动的速度；（2）应用物料对于γ射綫的吸收測出物料的均匀度；（3）应用放射源和探測器在窰的两側和窰的上下的同步移动，測出計数率的变化，并由此計算出物料在窰內的塡充率。

这些測量方法应用到生产窰的眞正測量时，无疑地对于提供改进窰的設計和提高生产率的資料，将有所帮助。

7.生产过程中消除靜电积累的方法

在生产过程中，常由于滚軸的摩擦而产生很强的靜电，它的危害性主要的有三方面：第一，由于带电物体的相互排斥或吸引，使加工品在自动化机器中脱出导軌，影响下一工序的正常进行，如在印刷机上所常碰到的。第二，带电的原料或半成品吸引灰尘或自相糾結，如在紡織机及紗綫机上所常碰到的。第三，带电物体会打火花，因而引起失火或爆

炸，如在胶片厂或火药厂所曾碰到的。靜电去除的传統的办法有潮湿法、接地法等，但不如应用放射性同位素的方便可靠。把放射 α 射綫(或 β 射綫)的同位素用电鍍或其他方法敷在細条形金属板上，对产生或带有靜电的物体进行不断的照射，則因射綫对空气的电离作用，即可以将物体上的靜电去除掉。

8. 液面高度計和液面自动調节

在密閉的容器內測定液面的高度，是十分困难的。可是应用放射性同位素的 γ 射綫，可以使这样的測量变得十分容易，方法是在容器的一边装着鈷60源，相对的一边装着两个上下并列的計数管。鈷60源的水平位置刚好在两个計数管的交接处。源和計数管以可同步地上下移动。当液面高时，两个計数管都在液面之下，液体的吸收作用使两个計数管的計数都同样地少。液面低时，两个計数管都在液面上，因此計数都同样多。当源的位置刚好和液面相同时，一个計数管在液面上，而另一个在液面下，因而一个計数多而另一个計数少。此时电子綫路上就有一个信号出現，从鈷60源的位置就可以知道液面的位置，在电子綫路里如果装上一套繼电器来控制輸入和輸出液体的閥門，可以使液体保持在一定的高度。

9. 厚度計和厚度的自动控制

应用放射性同位素的射綫来測量厚度有一个特点，即是它不用碰到物体，就可以进行測量，这样的仪器还可以用来量紙上油墨的厚度和金属片油漆的厚度等。有两种类型：一种是利用物質对于 β 射綫的反射作用而設計的(反射型)；另一种則是利用物質对于 β 射綫的吸收作用而設計的(穿透型)。探測器多半是用电离室，并附有直流放大的綫路，在生产过

程中，厚度計是被广泛使用来自动控制产品的厚度，同时也用来检驗成品是否合乎規定的要求。

10.消毒杀菌的应用

放射性同位素的射綫还具有消毒杀菌的能力，罐头食品和医药用具經过射綫的大剂量照射之后，即可以达到杀菌要求，用这个方法消毒，对于那些不宜于使用高溫杀菌的物品，是特别适宜的。

三、放射性同位素在农业上的应用

放射性同位素在农业上的应用是多方面的，它包括了解决土壤、水份、肥料、选种、农作物保藏以及畜牧、林业等各方面的問題，几年来由于党对于和平利用原子能事业的重視，我国的农业科学工作者也已經开始了放射性同位素应用的研究，并且准备大力培养干部，把放射性同位素的应用推广全国，来为农业大跃进服务。

这里介紹的只是一些比較重要的农业上問題：

1.农作物的貯藏

馬鈴薯和洋葱等在长期貯藏中常常会发芽，以致养料損失，味道变坏(发芽的馬鈴薯还有毒)。貯藏的时間越久，由于发芽所受的損失越大，如果用丙种射綫照射，则虽貯藏九个月也不会发芽。射綫的照射能够抑制馬鈴薯发芽，已經是无可怀疑的事实。抑制时間的长短，是和照射的剂量有关系的，照射一万伦多的，可以貯藏到一年半之久，而不致于发芽。

另外我国种植的紅薯和白菜数量相当多，貯藏时常常由于腐烂而造成很大的損失，如果能够用射綫处理的方法来抑制腐烂，在經济上来說是有重大意义的。这方面的研究工作

年內即将开始。

2.土壤水分的測定

土壤中水分的含量，对于农作物的生长具有决定性的意义。水分过多或过少，都会影响到农作物的生长和产量，如果能够做到土壤中所含的水分刚好是农作物所需要的最合理的水分，对于提高农作物的产量，会起着一定的作用的。現在全国范围內大修水利，对于每块土地上灌溉用的水源已不成問題；但是还缺乏一个簡便而精确的測量土壤中的水分的方法和仪器，以达到合理用水的目的。应用水分对于射綫吸收的原理而制成的水分測定仪器，就可以解决这个問題。它的簡单結构原理如下：

两个金属管，一个放γ射綫源和鈷60（中子源也可以用），另一个放計数管，保持着一定的距离插到土壤中去，而測量它的計数，把这个計数和在同样距离而在干燥土壤下測量的計数相比較，减少的部分就是由于水分的吸收。在使用之前，必需先用含水量不同的土壤作一次校准曲綫；以后实际測量时，只要查閱曲綫，就可以定出土壤的含水量，十分方便。

3.射綫对于植物生长的影响

应用放射性同位素鈷60，安放在田間，对小麦进行經常的照射，发現在距离放射源适当远的地方，小麦发育得好，生长得旺盛。这証明了适当剂量的射綫照射，可以刺激农作物的生长发育。用射綫来处理种子，也可以得良好結果。苏联科学家曾做过很多这方面的研究：如蘿蔔种子經过射綫照射后，长出的蘿蔔比較大；亚麻的种子經过照射后，长出来的植株高。我国也进行些这方面的研究，如白菜的提早成熟問題，目前仍在繼續进行中。应用射綫来刺激农作物

的发育，提早成熟，和处理种子来提高产量，稳定产量，就經济的角度来看是具有重大意义的。

4. 选种和育种

优良种子对于农作物的增产是一个不可缺少的因素。如如何能得到更好的种子，是所有农民的迫切希望，利用杂交的方法可以培育出优良的种子，这已經是人人皆知的事。除此之外用射綫照射种子，也可以使植物发生变異，当然这些变異并不是都向好的这一方面变，有好些是反而变坏的。但是从这許多变異中，如果能够找到好的变異而加以培育，就可以得到优良种子。

作选种育种用的射綫，不专限于放射性同位素，它可以利用加速器里出来的射綫，以及反应堆里的中子束。

5. 合理施肥的研究

农作物在不同的生长时期中，及不同的土壤和不同的气候条件下，对于各种肥料的吸收是不相同的。正确地了解农作物在不同时期中和不同条件下对于肥料的要求，可以使施肥更为合理，因而能够更充分地发揮肥料的作用。应用放射性同位素的示踪作用，可以把农作物吸收肥料的秘密揭开。下面所介紹的一些結果都是用示踪的方法研究得来的。

1. 肥料施在土壤表面的，被植物吸收得少；施在种子沟內的被吸收多。

2. 腐烂植物所分解出来二氧化碳，可以被植物的根部吸收(在这以前，人們認为只有叶子能吸收二氧化碳)。

3. 棉花快成熟时，根部不易吸收磷肥，但噴在叶子上的倒能吸收很多。苏联曾在一万多亩棉田上采用根外施肥的方法，而得到棉花增产12%的結果。我国有些地方用了这个方法，也得到7.5%的增产。

四、放射性同位素在医学的应用

现在应用鈷60的γ射綫来治疗肿瘤的办法，已經是很普遍，常用的鈷源强度，有400克鐳当量和20克鐳当量等几种，安装在防护良好又便于操作的鈷治疗机內，强的鈷源則可以到一千居里以上。我国从今年起，已經建成了設备完善应用放射性同位素治疗的肿瘤医院，在短期內将向全国范围普遍推广。下面两节分別介紹放射性同位素在診断上和治疗上所取得的成果。

1.診断上的应用

临床診断上，放射性同位素用得最多的是碘131和鈉24。碘131可以应用来診断病人的甲状腺是否有病。甲状腺有病的人和正常的人的甲状腺，对于碘的吸收能力有差别。讓病人吃下含有定量的碘131的食物，經过固定时間后，用計数管在頸部处測量和收集病人的小便測量其放射性，即可以推断出是否有甲状腺病。碘131还可以用来測定脑瘤的位置，鈉24則用来測定血液流动的速度，从一側肘的靜脉注射入含有放射性鈉的溶液，在对側腕部放一計数管来測量，放射性鈉进入靜脉后，随血液流到心脏，再流往肺部后又回到心脏，然后从动脉流往全身。此时对側腕部的計数管，才开始計数。从注射开始到計数管計数的时間，就是血液循环的时間，应用这个方法可以了解到心脏和血管发生各种病状时的血液循环情况。

診断用的X射綫机，也可以用放射性同位素的射綫来代替。用銩170或鍶90做成的X射綫机都非常輕便，可以携带，比起需要高压电源的常用X射綫机，要方便得多，适合于野外或边远地区的使用，只是射綫强度較弱，需要有較长的曝

光时間。

2. 治疗上的应用

在和各种肿瘤、癌病作斗爭的战綫上，放射性同位素发揮了良好作用，利用射綫的电离作用，使肿瘤的組織受到破坏，不再生长，因而收到治疗的效果。肿瘤的种类很多，治疗的方法和所用的剂量也要随之而不同。在体外的如鱗状上皮細胞癌、血管瘤、血管痣等，可以用β射綫的照射如磷23、鍶90的β射綫以及能量較低的鐳的β射綫等。作这样治疗时，应該用薄鉛片掩住沒有得病的部分，而只讓β射綫照射到得病的部分，在体內的如子宫頸癌、支气管肺癌等，则应該用鐳或鈷治疗机的γ射綫照射。

五、放射性同位素在科学研究上的应用

科学研究上的应用放射性同位素，包括的范圍非常广。主要的是应用同位素的示踪作用；也有的应用射綫的作用（化学的輻射效应）和中子照射（活化分析）。要把放射性同位素应用在各門科学研究上的成果加以介紹，事实上是不可能的，因为它的內容太多了，下面只是把已經在我国进行的研究工作，介紹两三个作为代表。

1. 有关于动物生理的研究

（一）利用放射性同位素研究銻銨在动物体內分布和排泄情況。

将含定量銻124的銻銨注射到大白鼠腹腔，然后解剖检查，可以看出放射性的銻124在肝脏內最多，胃腸道次之，其他的組織含銻均少。又将含有定量銻124的銻銨注射家兎体內，而收集其糞便和尿来进行放射性测量，则发現在三天的总排泄物中，只有35%的銻124从尿中排出，糞便中含放射性甚

少，其余的均被体內吸收。这个研究的結果，可以使应用銻鉀葯物治疗血吸虫病的用量更为合理，以免超过剂量。

(二)利用放射性硫35研究蛋白質合成的速度

将含有15微居里硫35的甲硫氨酸，注入体重約20克的小白鼠腹腔，16小时之后，进行解剖，取出肝、腎、腸、肌肉等四种組織；并将其所含蛋白質分离出而測量其放射性，結果可以看出：腸粘膜合成蛋白質最快；腎、肝次之；肌肉最慢，但全部肌肉的合成总量最多。这个研究的結果可以帮助解释許多疾病的发生原因。

2.固体中扩散現象的研究

固体的表面并不是紧密沒有空隙的。固体內部的各分子的排列并不是固定不变的，而分子和分子之間也还有相当空隙，可以允許别的分子移动通过。这些性質都可以从扩散的研究得到証明。把含有放射性鋅65的鋅，电鍍到銘晶体的表面上，再加以高溫处理，增加表面的鋅分子向晶体內部的扩散。然后取出晶体，沿着表层平面一层层磨下，測量每一层粉末所含的放射性鋅量，即可以发現鋅可以扩散到距离表层相当远的里层去。每一层扩散分子的密度，是与距离表层的远近，成指数函数而减弱的关系。

3.射綫对于高分子化合物的影响

高分子化合物当受到射綫的大剂量照射之后，将发生性質上的改变。有的化合物变了顏色，有的变脆，有的融点改变，有的产生裂紋。总之，射綫对于高分子化合物的大剂量照射(剂量在10兆伦以上)，会引起分子的鏈鍵結构的改变。其中有一种号称“交鏈”的改变，最为有用。因为这样的改变，可以增强高分子化合物的坚牢性。

結 束 語

从上面所介紹的許多实例，可以看出放射性同位素在近代的工业、农业、医学以及在許多門科学研究中所起的作用，和所处的地位。事实上，上面的例子只不过是一些比較突出的例子；其他可以应用放射性同位素的地方，远远地超过此数。我們国家在最近的短短几年中，在党的和平利用原子能事业的指导思想下，已經做了不少工作。如1955年举行过关于和平利用原子能的宣传工作；1956至1957中国科学院、中国医学科学院以及其他卫生部門先后共办过八期同位素訓練班，已培养出能够掌握放射性同位素使用技术的干部三百多名；1956年約請苏联来我国北京举办了和平利用原子能科学技术展覽会等等。全国人民对于和平利用原子能有了正确的認識，現在我們在苏联的无私援助之下，已經能够自己生产放射性同位素，这解决了发展和平利用原子能事业的道路上的一个关鍵問題。我們应該在工业、农业、医学和科学研究各部門，尽快地掌握有关应用放射性同位素的技术；尽快地向全国范围內推广普及，使这一个原子时代中的犀利武器——放射性同位素，能够更好地为发展我国的国民經济服务，而发揮它应有的作用。

向机床工业的最高水平迈进

燕丁　王君实

旧中国根本没有机床制造业。解放初期，我們只能生产很少数量的机床。根据統計，那时全国生产的机床品种只有16种，而且有50%以上是老式車床。但是，八年后的今天，我国机床工业已經取得了巨大的成就，我們不但在普通机床生产上有了比較全面的发展，而且也发展了标志着現代机床工业技术水平的重型机床、精密机床、高效率自动化机床的生产，使我国机床工业逐步发展成为一个完整的工业体系。

一、机床巨人

在現代大的工业企业的一些設备上，有些零件是非常巨大的，一个零件常常重达几十吨到几百吨，象鋼铁联合企业、大型水电站、化学工业等，都有許多这样的金属零件。这些零件最初是由金属浇鑄或是軋鋼机軋出来的。它們的外形很不规则，表面也很粗糙，要讓它們在机器上担負起工作，就必須把它們先加工成为表面很光滑具有一定的尺寸和一定的形状。这些任务是由机床当中的巨人們来担負着的。

机床巨人一般是指重型机床說的，它們包括了重型立式車床、重型龙門鉋床、重型鏜床、重型龙門銑床和重型滚齿机床等。这些巨人的体重非常惊人，一般是由30吨到几百吨，甚至还有达到1,000吨以上的。

它們在工业建設中担負着非常重要的責任。一般来說，巨

大的零件都是大企业当中的关鍵性零件，沒有它就意味着一个巨大企业沒有了生命力。比如，在水电站中，如果沒有水輪机，那一切就不可想象了。但水輪机却正是要由这些巨人才可以生产出来。这些巨人，在我国刚解放的时候，我們自己不能生产，为我們服务的机床巨人都是由国外来的“洋人”。1953年，我們生产了第一台立式車床。它虽然还只能加工1公尺直径的圓柱形零件，但是它却标志着，从那时候起，我国已經能够生产重型机床了。現在我們已經生产出了一些机床巨人。更大的重型机床，不久也要陆續生产出来。

我国齐齐哈尔第一机床厂生产的C 523重型双柱立式車床，就是其中之一。它可以加工10几吨重的零件。零件的外圓可以到2公尺以上，零件高度也有1公尺60公分。机床的身体差不多有两层楼那么高，巨大的刀架象手臂一样抱住了加工零件。工件每轉一轉，就要被机床切进去9个厘米那么深。一按动电鈕，这位巨人就怒吼起来了，把零件象刨木材一样，很輕易地刨得又准确又光滑。别看它这么巨大，但是动作起来却不笨重，只要按动电鈕，它就能按着自己的习惯来作各种运动。它是专門加工大而且短的圓柱形零件的外面、里面，和在零件上加工各种孔用的机床。

济南第二机床厂生产的B 220龙門鉋床，可以与这台立式車床相比美，它是专門加工各种零件平面的。这台机床有69吨重，是我国当前重型机床最重的一台。床身长17公尺。在它上面加工的零件可以大到2公尺寬、6公尺长，簡直象一座小房子一样。它本身則比得上普通的两层楼房那样高大宏伟。

这台机床的力量非常大，它的功率是115瓩，相当于150匹馬力以上。由于力量大，所以它的四把刀子可以同时加

工，从零件上切下很大的金属鉄屑来。

同样可以称作巨人的还有T 612型万能臥式鏜床和X 290型龙門銑床。它們的身躯比上面說的立車、龙門鉋小些， T 612鏜床是专門加工大零件上的精密孔用的机床。它加工的最大孔的直径是700公厘。龙門銑床是在巨大零件上銑制各种形状的平面用的机床。

在我国，这些机床巨人还刚刚开始成长起来。在我国工业建設中工程特別大的地方，将有許多巨大的零件須要机床来加工，象三門峽水电站的水輪机，直径将达到8公尺；长江三峽将来发电时，水輪机的直径将要达到20公尺以上，巨大的鋼铁联合企业正在兴建，这都要求我們尽快地生产出一些更大的重型机床来。現在我們生产的机床体重还不超过100吨，但是在两三年时間內，我們就要生产出体重几百吨的巨大机床来，象20公尺立車、5公尺龙門鉋、320公厘鏜床、5公尺滚齿机床，等等。它們有的将要大于前面所說的巨人十倍。等到这样一些巨人誕生了，它們就可以列入世界机床巨人的行列，和世界上最大的重型机床并駕齐驅了。

二、高精度机床

要发展一个国家的尖端技术，必須首先发展各类高精度机床，比如火箭和雷达中需要的精密齿輪，就需要极高精度的齿輪磨床来制造。在机床工业中，高精度机床一般包活了齿輪磨床、座标鏜床和螺絲磨床。由于这些机床的精度要求极高，制造起来非常困难。今年，上海机床厂生产的我国第一台高精度齿輪磨床——Y 7125齿輪磨床，和昆明机床厂生产的我国第一台T 428型座标鏜床，都标志着我国的机床工业已經跨进了一个新阶段。

Y7125齿輪磨床所加工出来的齿輪的齿距誤差和齿形誤差只允許有3公微，就是說，誤差不得超过一根头发的1/25。要做出这样高精度的齿輪，就要求机床上的分度盘分度誤差的正确性能保持在1.5公微以內，蝸輪蝸杆的加工要达到"O"級❶精度。这台机床上有一块叫做漸开綫仿形板的零件，是保証加工齿輪形状正确的最重要零件，必須要使它保持最正确的几何形状和很高的光洁度。机床的主軸和沙輪軸的摆动也不得超过2公微。

T428型座标鏜床加工工件的孔，能够保持5个公微孔距的精度。机床上有一根鏜孔主軸，叫做鏡面軸，它必須保証12級❷以上的光洁度，光亮程度簡直象面鏡子。主軸的摆动誤差不能超过2公微。机床工作台的定位系統采用电磁感应，能很准确地在刻度盘上表示出1公微的誤差。所有这些关鍵零件的制造技术都是十分困难的，它們往往要求在一定溫度和一定湿度的条件下才能进行加工。

机床工业已經有一百余年的历史了，直到目前为止，世界上也还只有极少数的几个国家能生产这些机床。但是困难压不倒中国工人阶級的創造力量。上海机床厂和昆明机床厂的工人們，在大跃进中以冲天的干劲，克服了重重的困难，解决了許許多多生产上的关鍵問題，比如在1956年召开全国机床制造协調会議时，制造"O"級蝸輪蝸杆还被認为是个新課題，可是沒过多久，上海机床厂就把它制造出来了。現在上海机床厂又提出了一个宏亮的口号：要在不久的将来，讓一台高精度的机床——螺絲磨床誕生。

---

❶O級齿輪是齿輪中精密度最高的一級。

❷光洁度共分14級，12級光洁度在机床制造中是极少遇到的超精加工后的光洁度。

我們已經制造出来的Y 7125型齿輪磨床，精度比英国奥克特厂出产的齿輪磨床还高。T 428型座标鏜床也已赶上了世界先进技术水平。这些輝煌的成就，使我們今后更有充分的信心生产出各种高精度的机床来。

三、自动化和高效率

在最新的机床制造工厂中，要求工人只花費少量的体力劳动，大大地提高机床的生产能力；甚至要求一个工人操作几台乃至几十台机床，讓机床自动工作，工人只对它进行必要的調整就行了。同时还要求机床工作时，具有最大的切削量和最高的速度，有时还要求几把刀具同时加工几个零件，这就是机床制造工业今后发展的方向之一——自动化和高效率加工。自动化和高效率的結合，就出現了最新結构形式的机床。

現在我国生产的机床，已經广泛地应用了机械的、液压的、电气控制的和綜合控制的机构，使机床的动作局部或完全自动化。一般机床是将这些机构联合采用的，这样就能够在多种复杂条件下选择所需要的控制机构。

全部自动化的机床包括的自动化工作是：装夹零件的自动化；机床加工的自动化；机床工作中的自动調整；加工零件的尺寸測量自动化；零件的自动卸除和下次的工作开始等等。

除了要求机床自动工作以外，还要不断提高机床的生产效能，这就是一方面要提高机床的速度、切削量和机床的动力；另一方面就是采用多刀多刃加工、一次加工几个零件的多工位加工和应用新的加工方法——仿形加工。

在万能性的机床上，一般是提高机床的速度和切削量，以及附加仿形加工装置。同时要使机床的輔助动作自动化，

簡化操作程序。在成批生产和大量生产的情况下，可以采用专門化机床，只重事先經过調整，这些机床就会按零件所要求的动作，自动加工，自动停止，同时还可以在这些机床上采用多刀和多工位加工。

对一些生产量非常大的零件(如軸承、发动机汽缸等零件)，就完全可以用专用机床加工。这种机床的生产效率和自动化程度都很高，它們可以組成自动生产綫、自动化車間以至自动化工厂。在那些工厂里，几乎看不到几个人在操作机床，而机器就会从車間里“流”出来。这些机床基本上都是由一些标准部件組成的，所以也可以叫做組合机床。它們的生产率有时会比万能机床高几十倍乃至几百倍。

自动化和高效率日益广泛采用，使机床发揮了巨大的潜在能力，提高了机械加工的生产率，降低了生产的成本，減輕了工人繁重的体力劳动，改善了加工零件的質量。

我国現在已經生产了許多自动化程度很高、工作效率也很高的机床。象南京机床厂生产的C107A型单軸自动車床，身材矮小，同重型机床比起来，它簡直是机床群中的小弟弟，但是它那五个纖細的指头(五把刀具)加工出来的零件，精度达到5公微，光洁度达到8級，已超过了英国，赶上了瑞士。它靠着凸輪的控制进行工作，从送料到加工完成，都是自动进行的。它是加工一些仪表工业零件的能手。沈阳第三机床厂生产的C25X4型四軸自动車床，是采用自动化、多刀、多工位来加工零件的。它有四个刀架十多把刀具，能同时加工四个零件。整个加工过程完全自动化。車床上的信号灯，象一双非常精灵的眼睛，一会儿紅眼睛睜开，一会儿綠眼睛睜开，这样不断地向操作人員“汇报”自已的工作情况。这台車床是一个生产能手，它加工軸承等零件，可以抵上22台普通

車床。

大連机床厂生产的C720K多刀半自动仿形車床，也是机床群中一个杰出者。它是采用液压仿形加工方法来进行工作的，除装卸零件以外，所有的工作都是自动进行。由于它綜合利用了多刀、自动化和仿形加工，生产效率很高。

在磨削加工中，要算无錫机床厂生产的M2017Z型自动內圓无心磨床的自动化程度最高。它用砂輪来磨削零件內孔，从装零件到零件加工完成，直到零件落入零件盒里，完全自动进行，連砂輪的修整和砂輪磨小了以后的补偿，也都是自动进行的。它的精密度很高，横向进給量最小可以到5/1,000公厘。

UT001型双面臥式組合机床，是大連机床厂生产的一种专用自动化机床。这台机床有24个主軸，將近40把刀具加工。它的主軸从两边伸出来，好象許多条手臂一样，把放在机床上面的两个零件紧紧抓住，同时加工出許多圓孔来。这是我国自己設計的第一台組合机床。生产能力比一般万能机床加工同样零件高7--8倍。这种組合机床是組成自动生产綫、自动化工厂的一种基本形式。

高效率自动化机床是我国机床工业发展的方向之一。將来，在車間里只有很少的几个人在看管机床，大多数的机床都是自动化的，成千上万台机器將自动地从車間里生产出来，操作机床的人就是工厂的工程师，体力劳动和脑力劳动的界限也就完全消除了……所有这一切，都不是很遙远的事。

四、小巧玲瓏的机床

在工业生产的各个部門中，不但需要許多巨大的零件，也需要許多非常細小的零件。这些細小的金属零件要具有完

整的几何形状和精确的尺寸。加工这些零件的机床，正和那些机床"巨人"对应，它們自成了机床中的"小人国"。要說小，它們眞是够小的了，重型机床上的一把刀子或一个螺絲訂，都要比这些小机床大得多，甚至巨大机床上切下来的一块鉄屑，比小机床上加工的零件要大到几十倍或几百倍。

但是，这些"小人"們都在生产上担負了很重大的任务，象制造精密仪器、仪表、鐘表等，都是需要这些小机床的。各种"量"的测量都要用仪表和仪器，仪器对工业的作用，就象罗盘对船只的作用一样，它能控制工业生产和国民經济各方面的准确度和精密度，沒有它，就沒有了测量的尺度。这些机床"小人"利用它們輕巧灵敏的动作，来給各种各样的仪表工业制造精密的零件。

輕手輕脚、默默无声地工作，是这些"小人"的工作习惯。在工作中，它們有时也会輕輕地哼着小調，但这不仅不影响工作，而且是表示工作的諧和。們它工作的細心，是由于工作的要求形成的。可以設想，要加工那些只比一根头发粗一点点的零件，一不細心，就会成废品了。

这些机床"小人"的样子都不相同，担負的任务也不同，有鐘表、仪表車床，立式鑽床，仪表滚齿机床。仪表銑床，台式牛头鉋床和台式磨床等。同普通車床一样，它們也組成了自己的一个大"家族"，其中有分工，也有合作，共同完成鐘表、仪表的制造任务。

鐘表車床是这些"小人"中最小的一个，整个体重只有8公斤。它是专門負責加工鐘表、仪表中那些細小精密的圓柱形小軸的。台式鑽床专門在仪表上鑽小圓孔。它鑽的孔是小得很的，最大也不过只有3公厘。仪表滚齿机床担負各种仪表、鐘表里的传动齿輪加工的任务。它用自己灵巧的手臂，在

圓片上加工出一个个的小齿輪。这些齿輪是鐘表、仪表中的主要零件。仪表銑床和台式牛头鉋，专門加工各种精密平面。台式磨床負責仪表零件的精加工，它比上面說的小机床工作更細致，加工出来的零件精密度更高，通常其他小机床加过工的零件，还要由它来作精加工。这些小机床的共同特点是：身材輕巧細小，动作敏捷，工作速度很高，一般都是以每分鐘5,000轉到12,000的速度进行工作。

仪表机床也是我国机床工业中一个相当重要的部分，它在我国还很年輕，但从它在国民經济中所起的作用来看，它一定会很快地成长壮大起来。

五、尖端技术应用在机床上

最近几年来，世界上发展起来的尖端技术成就，在机床上也得到了广泛的应用，例如电火花加工机床、超声波加工机床、应用电磁感应和电子控制的机床等。我国的机床工业也利用了这些世界尖端技术的成就，并且已經生产出了第一部分产品。

現在我国有一种电火花-18型冲模机。在这种冲模机上加工零件，是通过放电的原理进行的。刀具和被加工件构成电路上的两极，靠它們之間的放电，对金属进行侵蝕加工。零件放在油池里的工作台上，刀具向下慢慢移动，发出火花和噼啪的响声，零件就被加工成为刀具原有的几何形状。超声波加工机床，簡单說就是利用超声波的原理，使刀具产生超声波振动，对零件进行加工。昆明机床厂生产的电气仿形机床，是采用感应式电子控制系統来控制机床的仿形动作，从接受运动信号，变成电的信号，再經过放大以后，轉为刀具的机械运动。上面提到的座标鏜床，它的工作台定位是采用計算机

构和电磁感应系統的联合动作，可以自动把座标的位置确定下来。

世界尖端技术成就在机床上的应用，有些国家已經有了很多发展，如用电子計算机指揮工作的机床，放射性元素在机床工作中的应用，电子一离子拖动的机床等。我国也要发展这些技术，并且要讓我国的机床工业能很快地跨上世界先进技术的最高峰。

六、 支援农业技术革命

发展簡单化的机床，是在农业大關技术革命的情况下向机床工业提出来的新任务。要改革农具、解放劳动力，使用各式各样的新式农具，实現农业机械化，怎么也是离不开机床的。

在第二个五年計划期間，我国将为农业机械修理提供40—50万台簡单化机床。現在已經生产出了一批乡一級机械修理厂或最基层的拖拉机修理站使用的簡单机床，其中包括車床、立式鑽床、銑床、牛头鉋床和砂輪机等。这些机床的特点是价格便宜，比普通机床厂使用的同类型机床差不多便宜3—4倍。这种机床的設計能适合多种动力的需要：已經电气化了的农村，配上电机，安上电鈕，机床就可以开动了。沒有电气化的农村，可以利用渦駝机、煤气机、畜力、水力等作为动力来源，通过机床上装置的其他传动結构，也能带动机床工作。机床結构虽然簡单，但是加上一定的附件后，又可以扩大它的使用范圍。而且由于結构簡单，操作时輕巧方便，技术水平要求不高，工人只要經过簡单的訓練以后，就能够掌握操作技术。

这些簡单化机床的生产，将使我国农业技术革命跨进到一个更新的阶段。

［Ｇｅｎｅｒａｌ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝现代科学技术新成就
作者＝钱学森等著
页数＝２０５
ＳＳ号＝１０３４７５３８
出版日期＝１９５９年０８月第１版

目录